



计算机通信与网络

Computer Communications & Networks

第1章 概述

南京邮电大学
通信与信息工程学院
张喆

zhezhang@njupt.edu.cn

“计算机通信与网络” 国家精品课程组

大纲要求

Requirements



- 01** 了解计算机通信与网络的基本概念;
- 02** 了解计算机通信与网络的发展历史;
- 03** 掌握计算机网络的分类方法和主要分类、各种类型计算机网络的主要特点;
- 04** 了解计算机网络体系结构, 掌握开放系统互连参考模型、**TCP/IP** 体系结构和各层的功能;
- 05** 了解通信标准化组织机构和相关职能。

内容纲要

Contents



01 课程与考试规则

02 计算机通信与网络的基本概念

03 网络的类型及其特征

04 计算机通信协议与网络通信结构



授课教师-张喆

邮箱: zhezhang@njupt.edu.cn

办公室: 三牌楼校区科研楼1408

答疑时间: 周一下午5:10-6:10
(教三-102)

个人主页:

<https://petrelli.github.io/zhe/>



课程理念

- 我们希望你们能有所学有所收获
- 不要不好意思问问题 (Be bold)
- 务实，切记表面功夫、形式主义
- 课堂积极表现，鼓励参与课堂讨论
- 充分发挥**主观能动性**



成绩计算方式

- **30%平时成绩 + 70%考试成绩**
- **平时成绩依据出勤率、课堂表现而定**
- **No curve!**

内容纲要

Contents



01 课程与考试规则

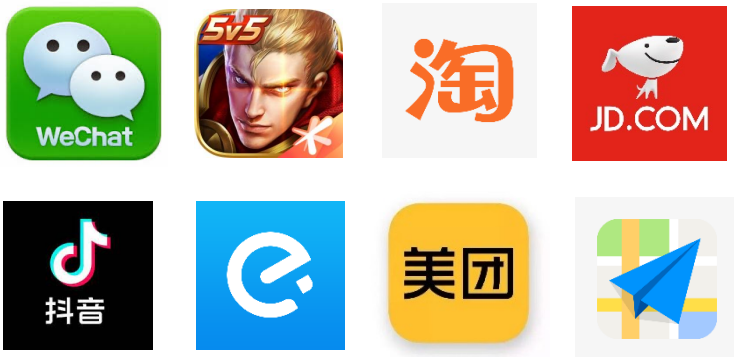
02 计算机通信与网络的基本
概念

03 网络的类型及其特征

04 计算机通信协议与网络
通信结构

互联网改变生活

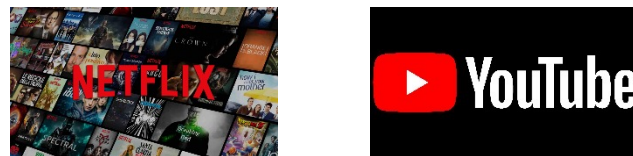
- 我们如何与他人联系？
- 我们如何知道这个世界有什么新鲜事？
- 我们如何获取知识？
- 我们如何支付？
- 我们如何娱乐？
- 间谍活动与现代战争是如何进行的？
- 回想一下疫情期间我们是如何学习、生活的。



手机里top App?



FLAG Companies



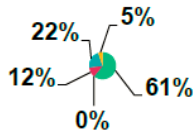
电脑常用应用?

国外常用App

英特网的增长

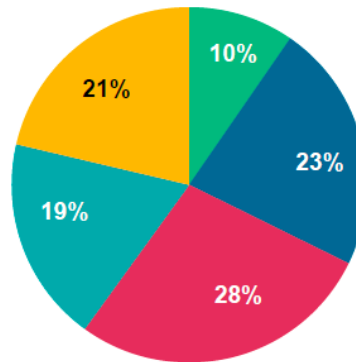
1995

35MM+ Internet Users
0.6% Population Penetration



2014

2.8B Internet Users
39% Population Penetration



■ USA ■ China ■ Asia (ex. China) ■ Europe ■ Rest of World

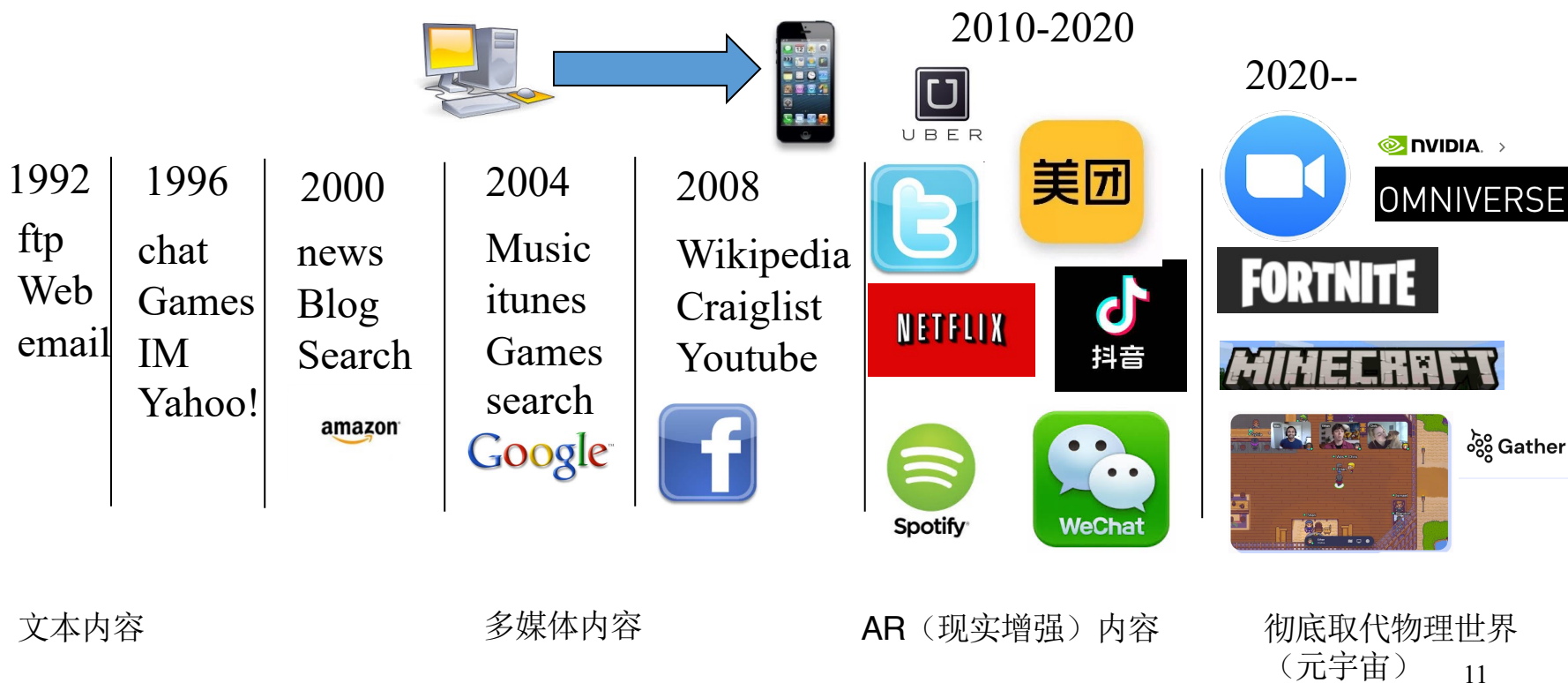
2020

4.8B users

(61% of the world's population)

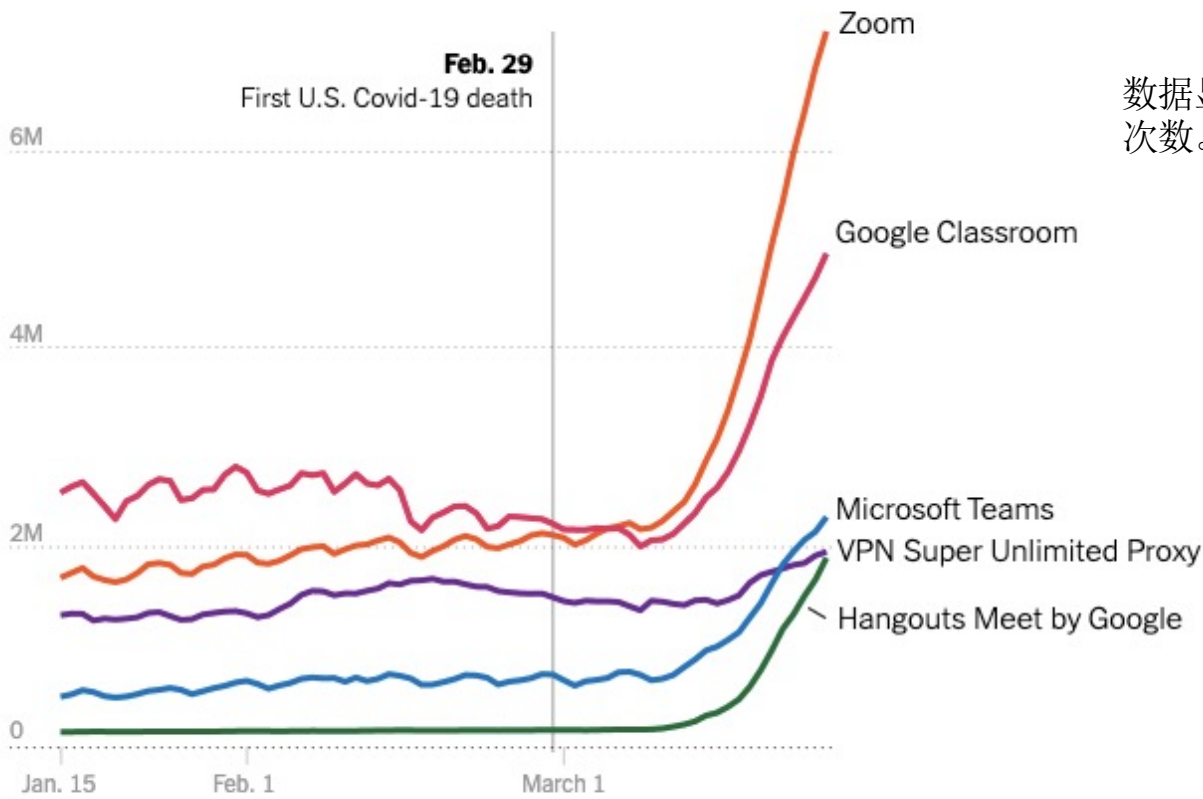
<https://www.broadbandsearch.net/blog/internet-statistics>

英特网的演进



我们依赖英特尔网来工作

Daily app sessions for popular remote work apps



数据显示 2020 年美国每天的session 次数。来源：纽约时报

App popularity according to iOS App Store rankings on March 16-18. • Source: Apptopia

我们依赖英特网来“玩”

Websites

Facebook.com

+27.0%

Netflix.com

+16.0%

YouTube.com

+15.3%

170M

Feb. 29
First U.S. Covid-19 death

Average daily traffic

26M

200M

120M

Jan. 15

March 24

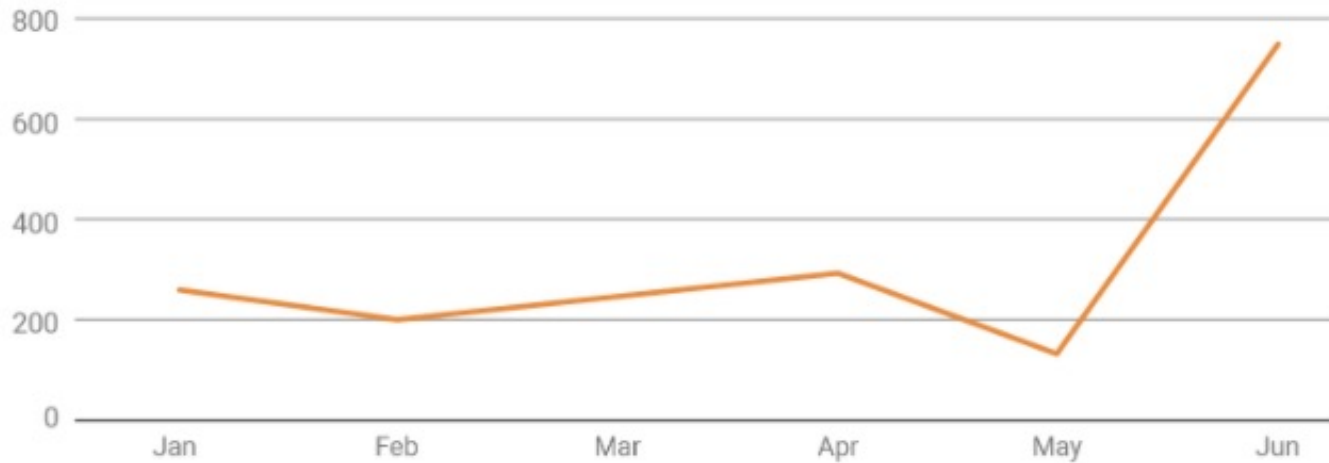
16M

160M

数据显示 2020 年美国每天的session次数。来源：纽约时报

英特网上的威胁也同样在增长

Largest L3/4 DDoS attacks by month in 1H '20 (million packets per second)



Source:
CloudFlare
blog





我国因特网发展过程： 三个阶段

1.1.1 主要发展阶段

• 第一阶段 (1986-1994)

中国兵器工业计算机应用研究所于1987年9月20日20时55分

我国第一封电子邮件

1990年11月28日，钱天白教授代表中国正式在国际互连网络信息中心(InternIC)的前身DDN-NIC注册登

.CN域名的注册时间

1994年5月，以“中科院—北大—清华”为核心的“中国国家计算机网络设施”国内也称中关村网，与Internet联通。

我国加入因特网



我国因特网发展过程： 三个阶段

1.1.1 主要发展阶段

第二阶段（1995-2007）：以教育、科研和商业应用快速发展为标志

- ◆ 1995年教育科研网CERNET建成；
- ◆ 1995年5月邮电部开通了中国公用Internet网，即ChinaNET；
- ◆ 1996年9月电子部的ChinaGBN开通；
- ◆ 1997年6月3日组建了中国互联网管理和服务机构：中国互联网络信息中心（China Internet Network Information Center，简称CNNIC）。



我国因特网发展过程： 三个阶段

1.1.1 主要发展阶段

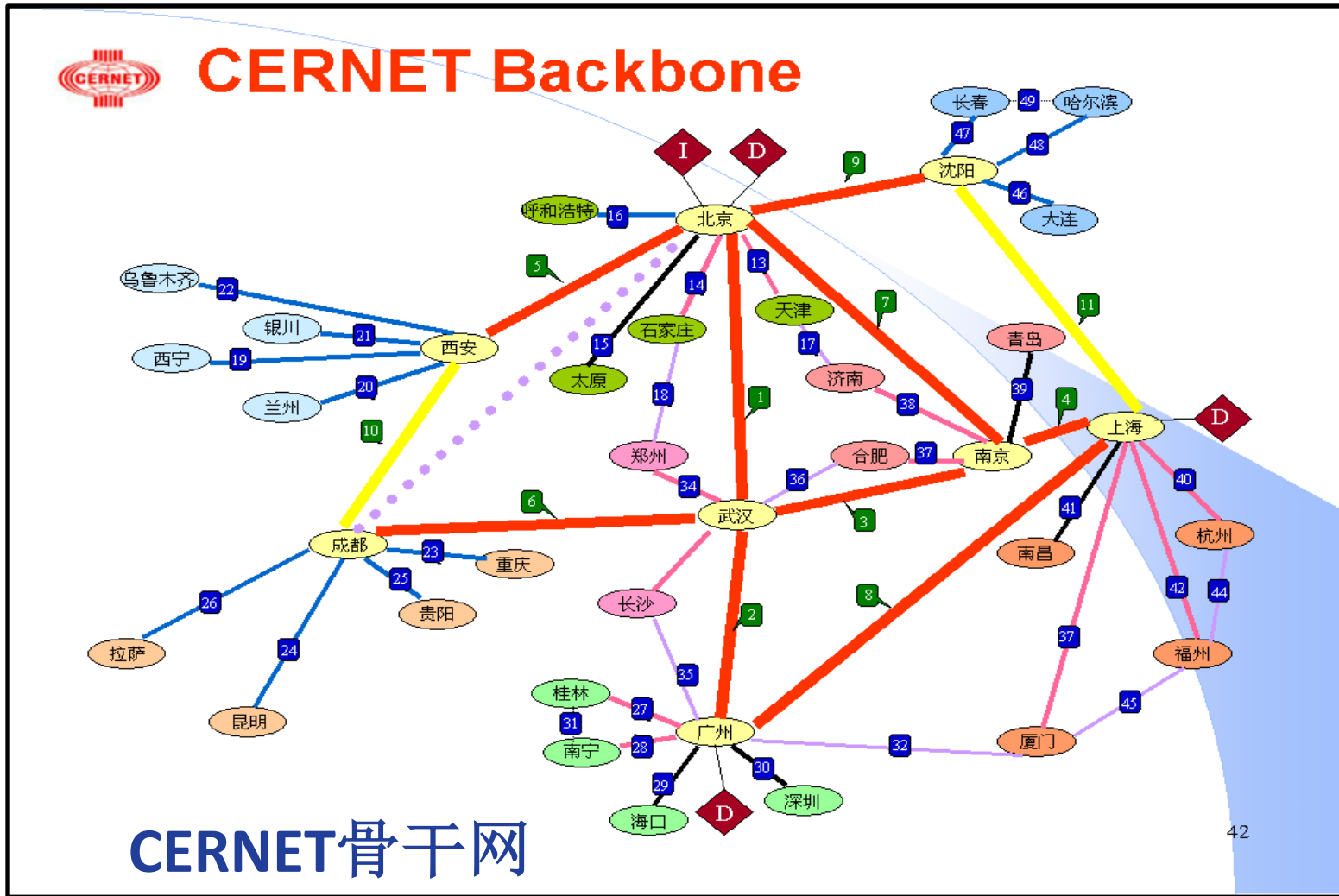
第二阶段（1995-2007）：以教育、科研和商业应用快速发展为标志

- ◆ 1997年公布了第一次中国互联网发展状况统计报告，当时以CN注册的域名数为4066个；
- ◆ 2001年5月25日中国互联网协会成立；
- ◆ 2006年1月1日中华人民共和国中央人民政府门户网站（www.gov.cn）正式开通。



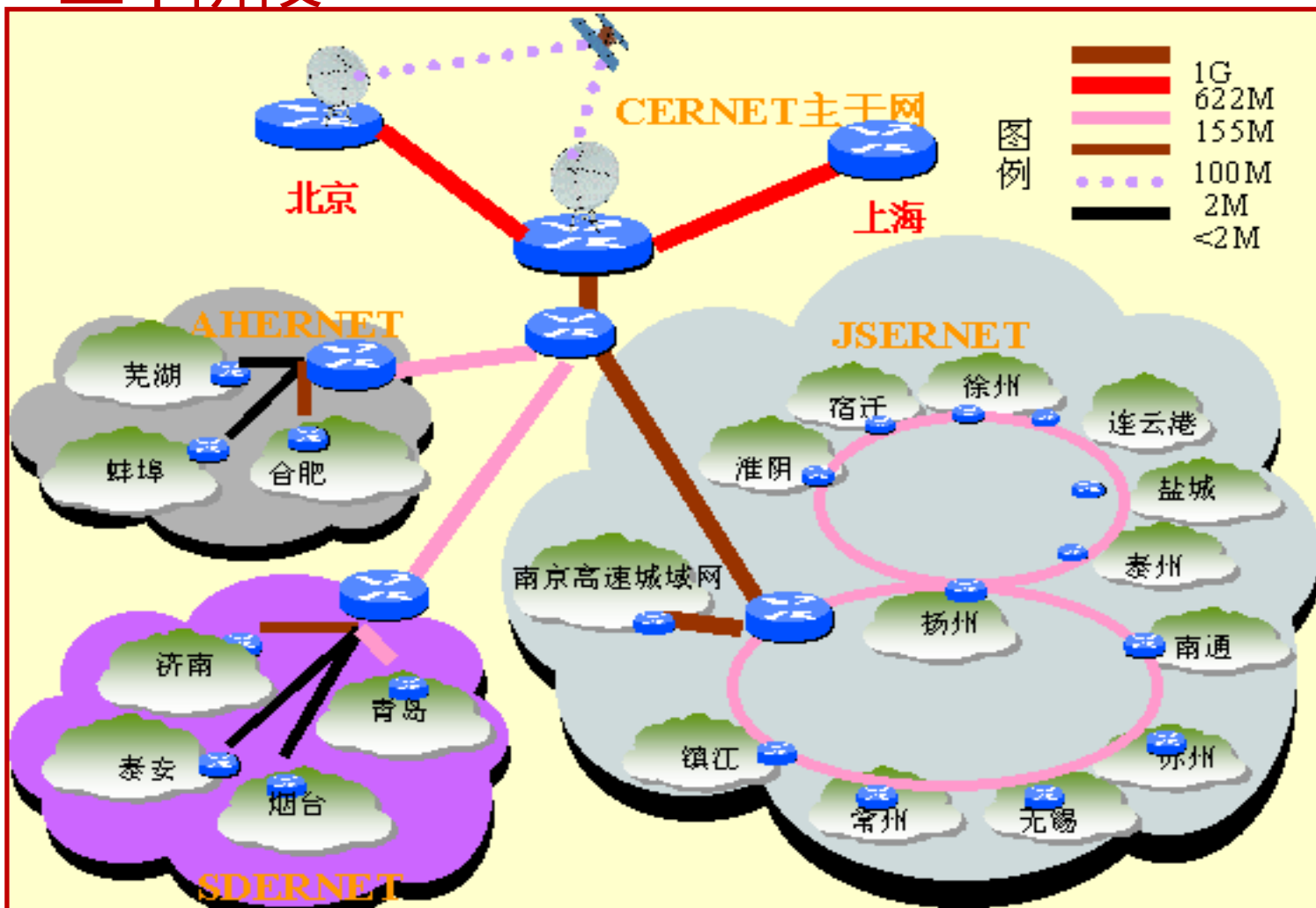
我国因特网发展过程： 三个阶段

1.1.1 主要发展阶段



我国因特网发展过程： 三个阶段

1.1.1 主要发展阶段



CERNET华东(北)地区主干网拓扑图



我国因特网发展过程： 三个阶段

1.1.1 主要发展阶段

第三阶段（2008-）：以规模发展为标志

- ◆ 该阶段以规模等多项指标位居国际前列为标志。到2008年6月底，中国互联网网民数量达到了2.53亿，首次大幅度超过美国，跃居世界第一位
- ◆ 截至2015年12月中国网民规模为6.88亿人，互联网普及率为50.3%
- ◆ 截至2015年12月中国国家顶级域名“.CN”总数为1636万，成为全球注册保有量第一的国家和地区顶级域名
- ◆ 截至2015年12月我国手机网民规模达6.20亿，有90.1%的网民通过手机上网



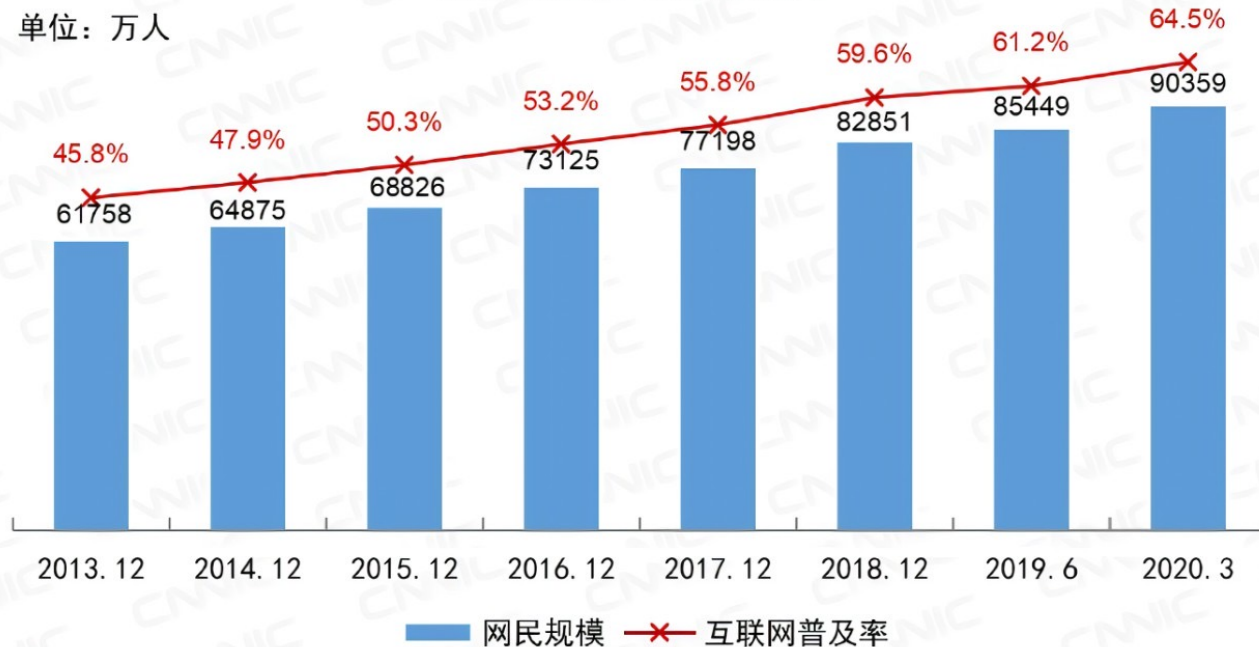
我国因特网发展过程： 三个阶段

1.1.1 主要发展阶段

第三阶段（2008-2020）：以规模发展为标志

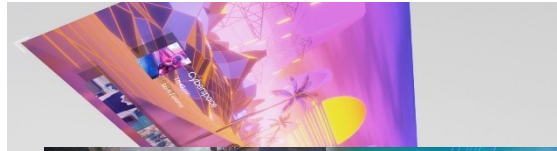
网民规模和互联网普及率

单位：万人



73.0%
10.32亿

未来已来



问题来了

- 我们是如何通过互联网来传递文字、图片、视频等信息的呢？
- 互联网又是如何支持线上支付、线上游戏、线上会议的呢？
- 云计算、5G、边缘计算、AI、物联网又与互联网有什么关系呢？

网络技术与应用：本门课程

- 我们将会学到互联网是如何设计的。
- 我们将会学到计算机网络的各种技术、架构、协议以及应用。
- 我们将会学习互联网技术底层的根本原则。
- 英特网是计算机网络的一个🍎



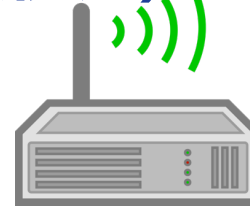
计算机网络的定义



计算机网络的组成

1.2.1 计算机网络的定义

什么是网络呢？



1. 信息在两个或多个实体之间传递的载体。
2. 实体可以是主机/终端（可互换使用）。
 - 例如笔记本电脑、手机等
3. 实体也可以是网络中间的设备
 - 如Wi-Fi路由器
4. 实体之间的互连由任何能够传递信息的物理媒介完成：
我们称物理媒介为链路
 - 无线链路：蜂窝4G/5G，Wi-Fi 802.11，蓝牙、卫星
 - 有线链路：铜线、光纤激光、同轴电缆



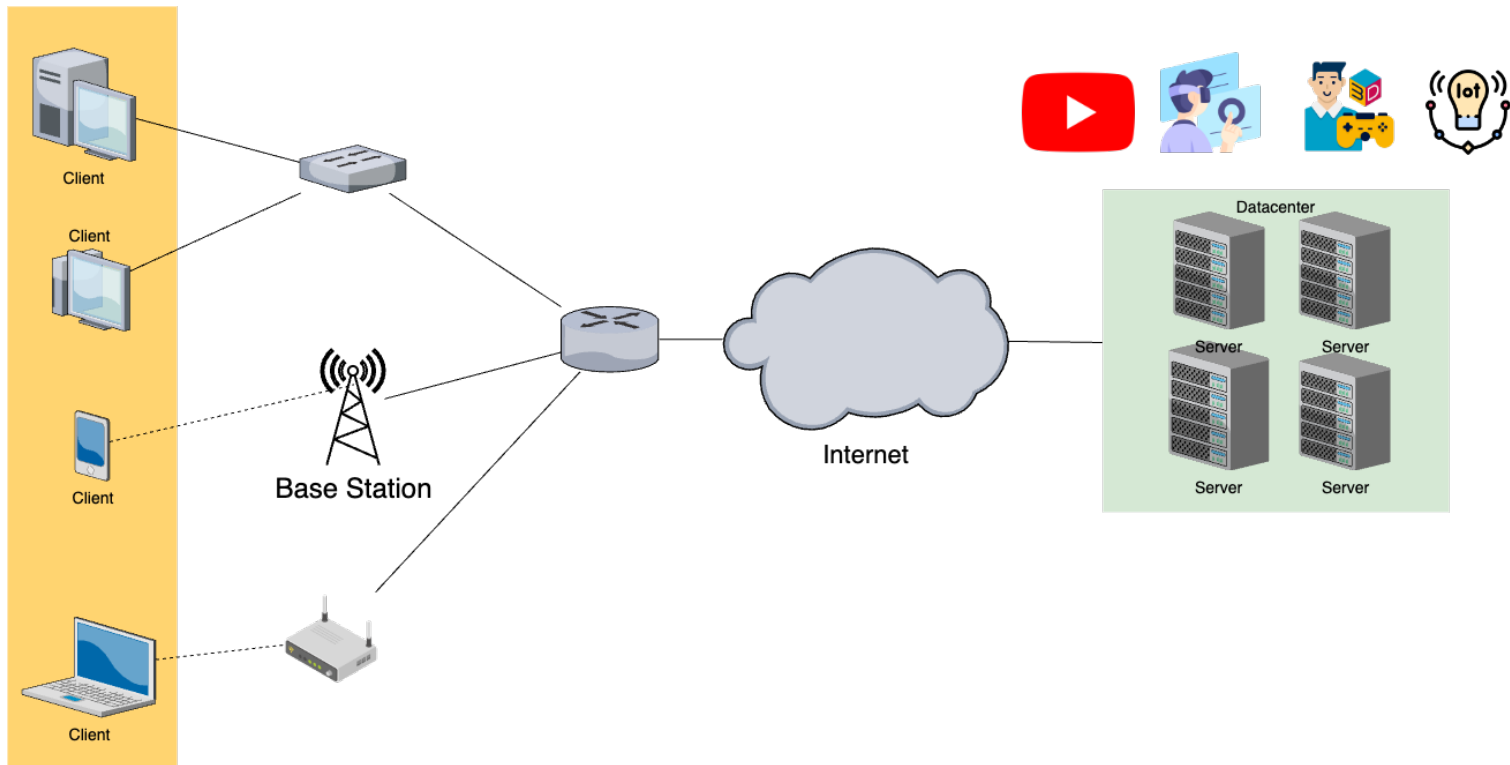


1.2.1 计算机网络的定义

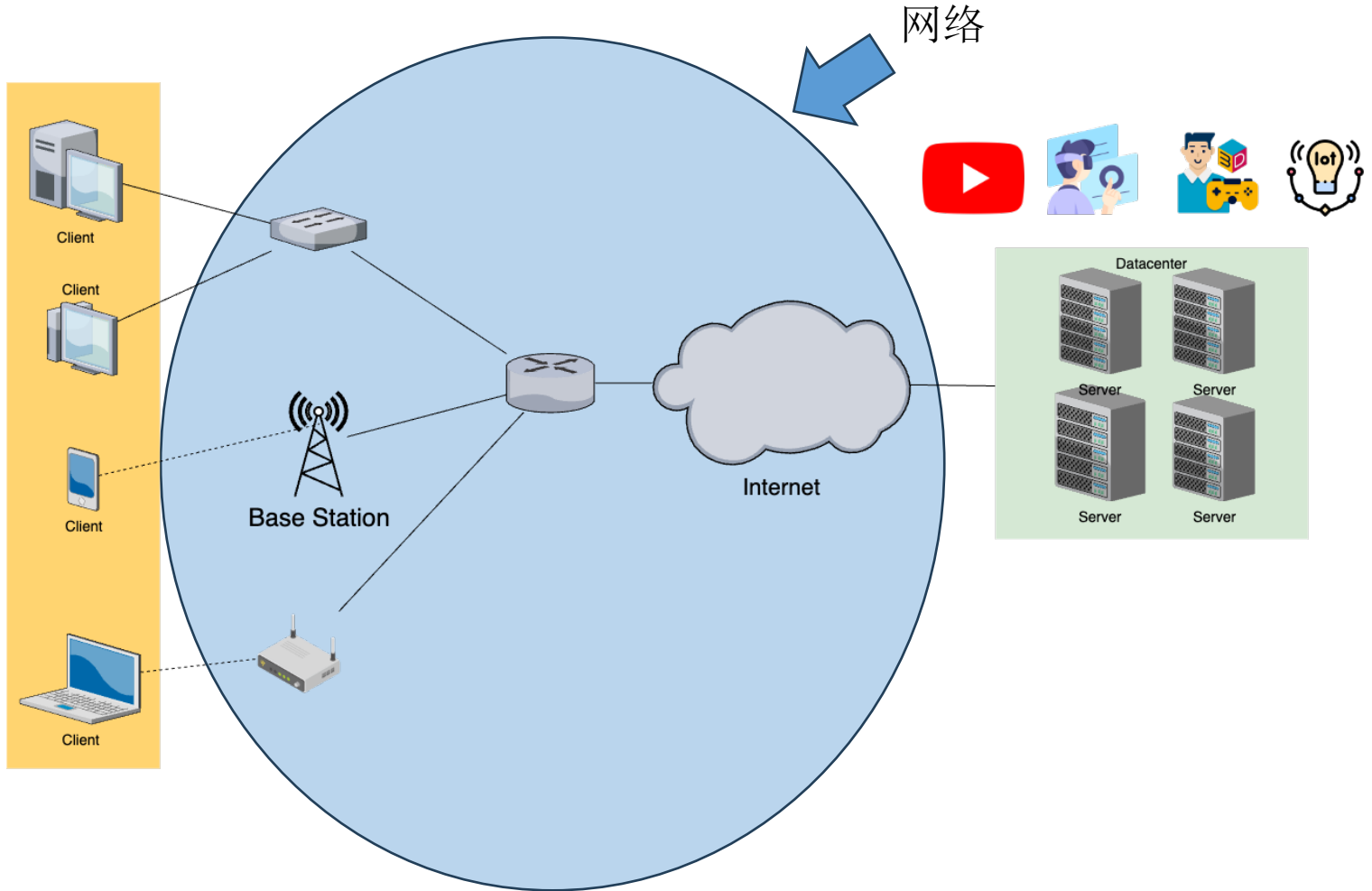
构成网络的要素

- **实体(Entity)**: 是通信时能发送和接收信息的任何软硬件设施;
- **接口(Interface)**: 是指网络分层结构中各相邻层之间的通信接口。

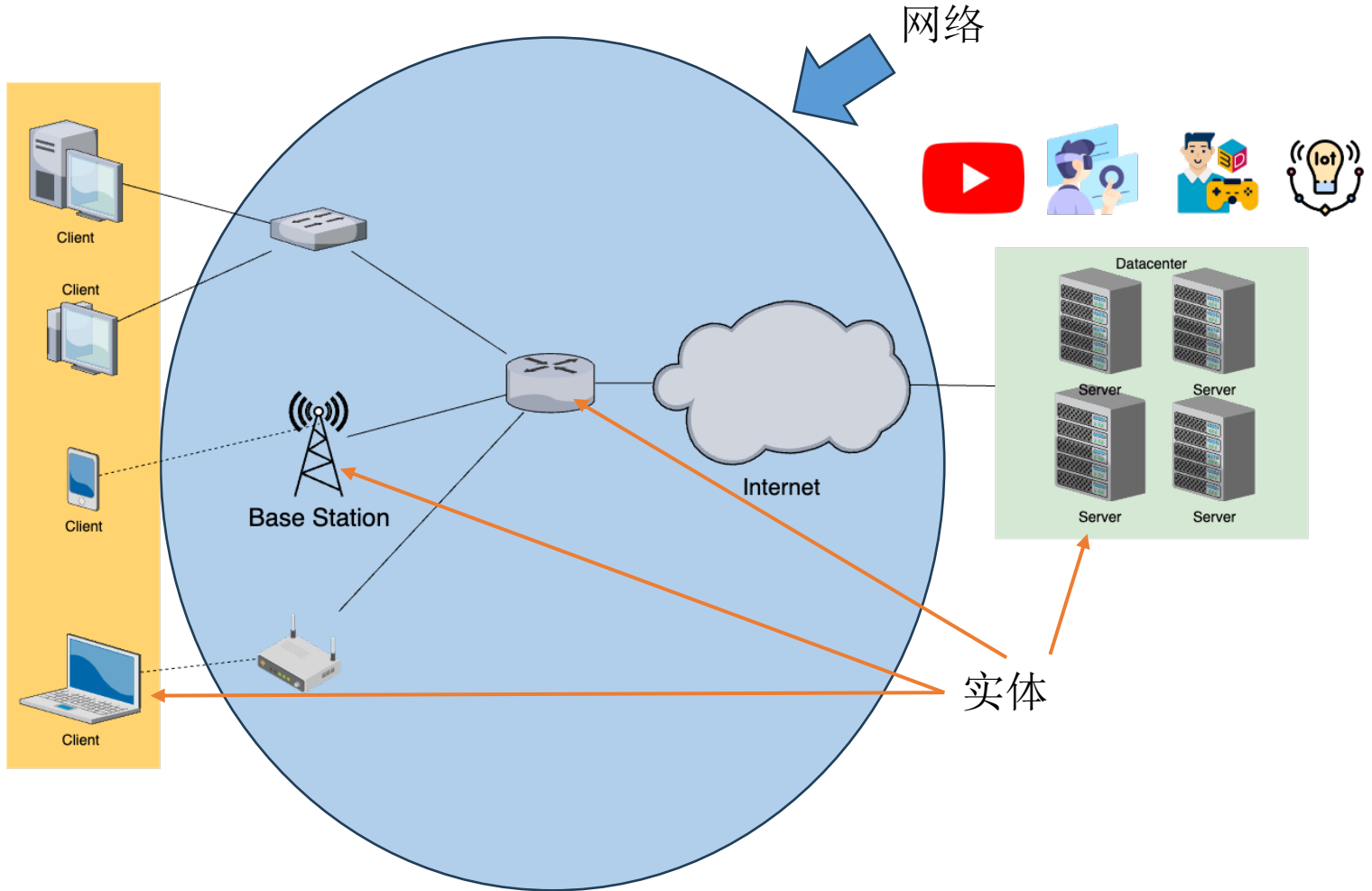
计算机网络



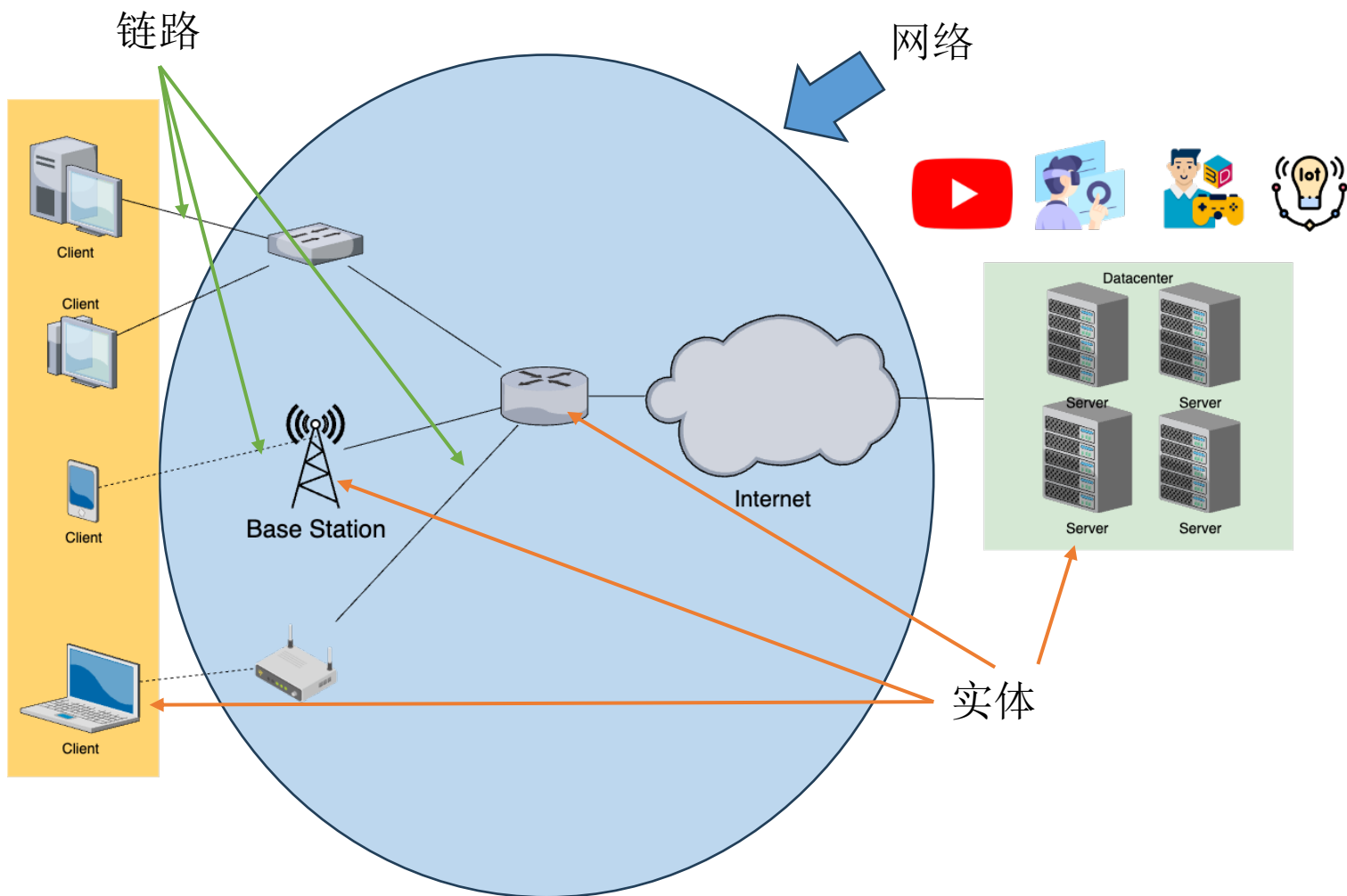
计算机网络



计算机网络



计算机网络





1.2.1 计算机网络的定义

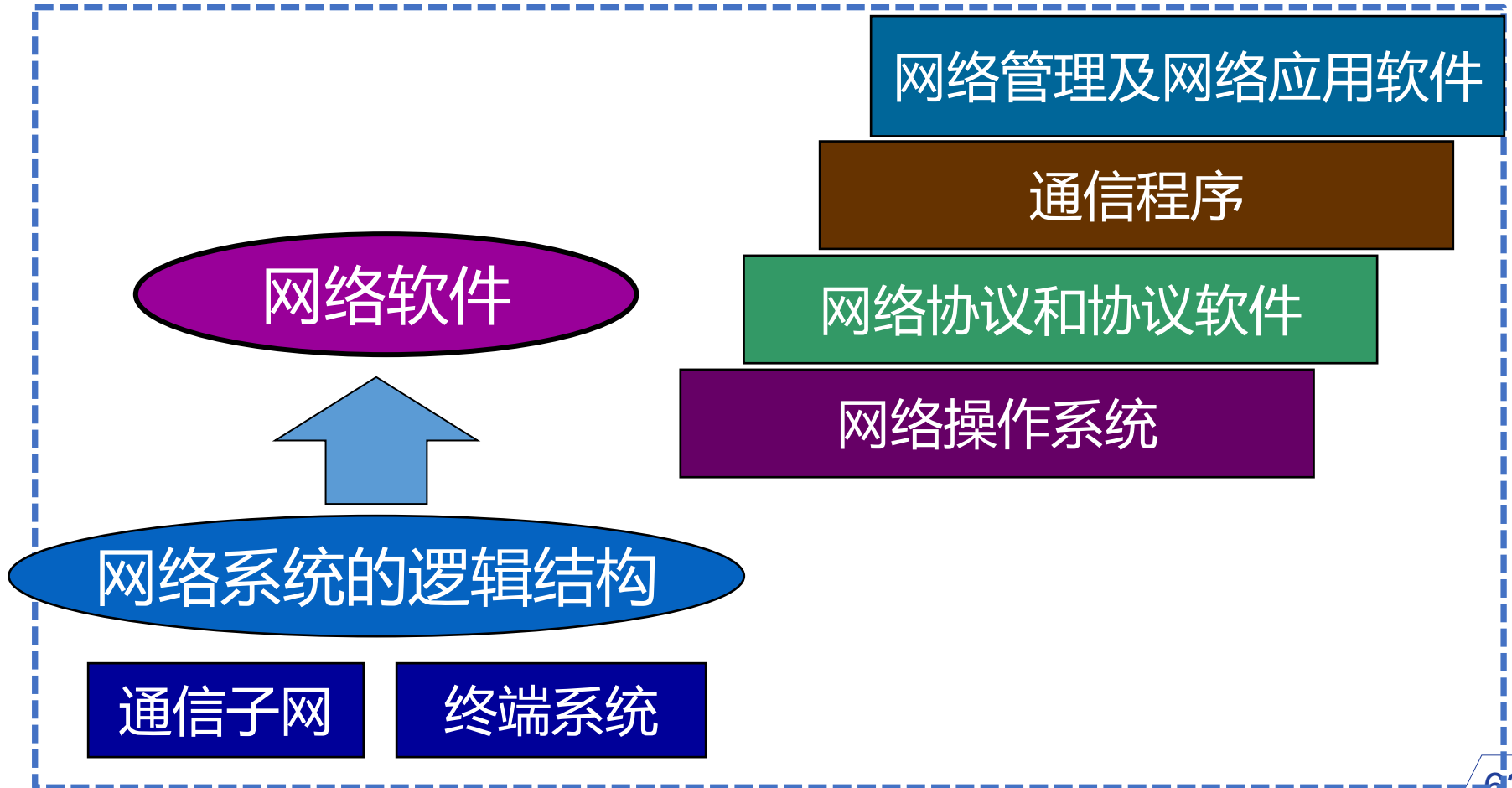
定义:

把分布在不同地点且具有独立功能的多个计算机，通过通信设备和线路连接起来，在功能完善的网络软件运行环境下，以实现网络中资源共享为目标的系统。



1.2.2 计算机网络的组成

网络软件系统:

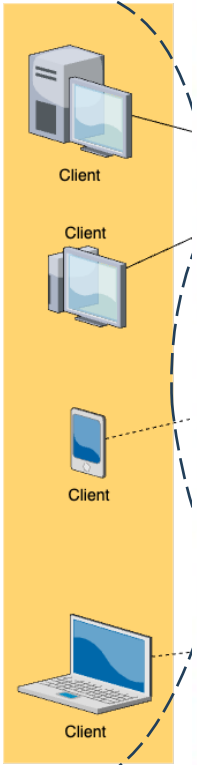
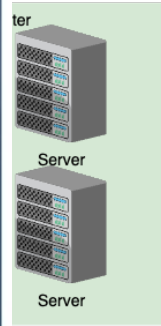


1.2.2 计算机网络的组成

以资源共享为主要目的的计算机网络从逻辑上可分成两大部分：

- **通信子网** - 网络信息的传输和交换
- **终端系统** - 负责信息的处理

计算机网络



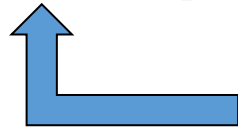
终端系统

1.2.2 计算机网络的组成

节点和链路:

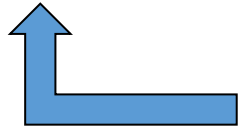
从图论角度，网络由节点和链路构成。

节点：边缘节点（构成终端系统）



包括主机、服务器等

中间节点（构成通信子网）

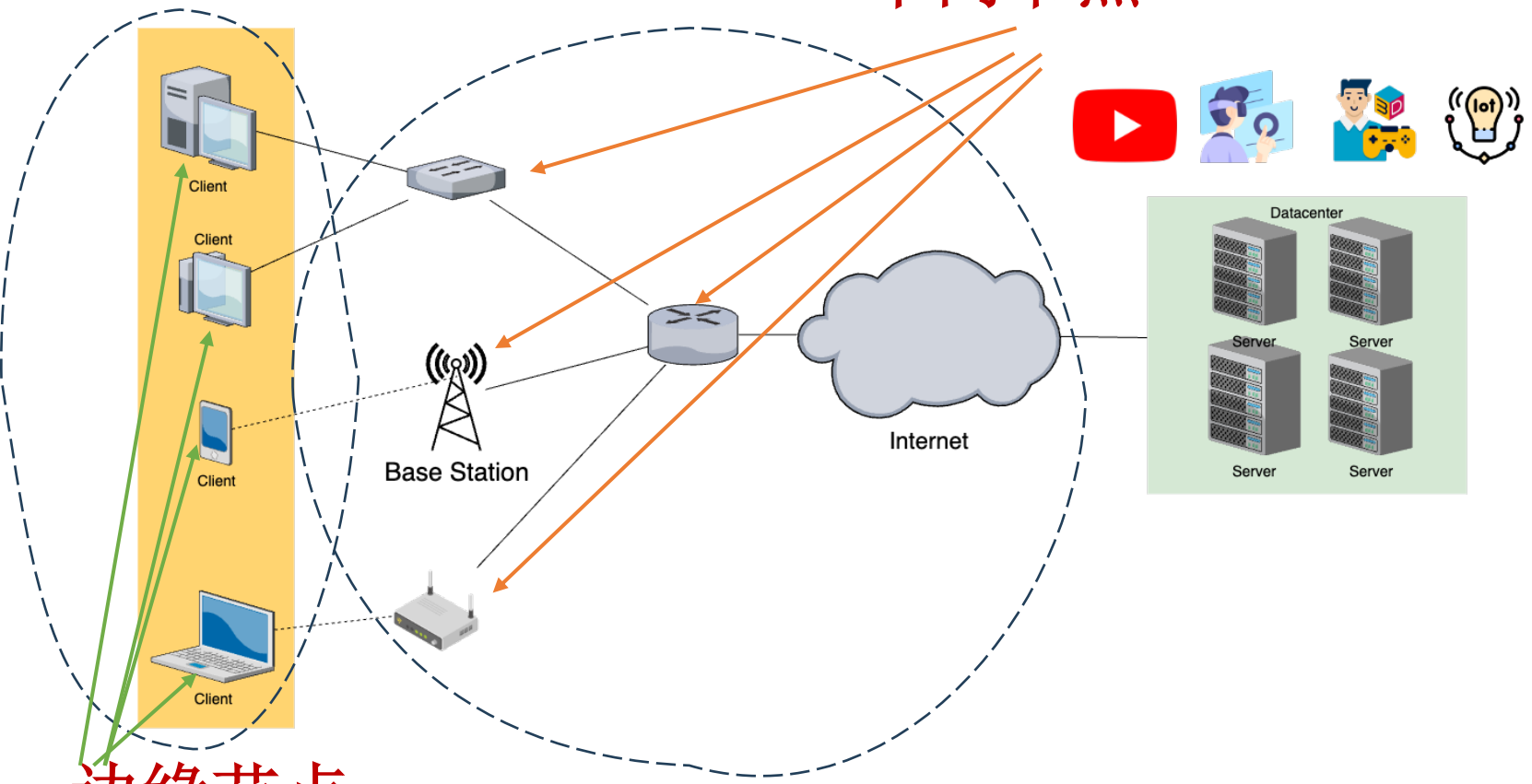


包括集线器、交换机、
路由器等

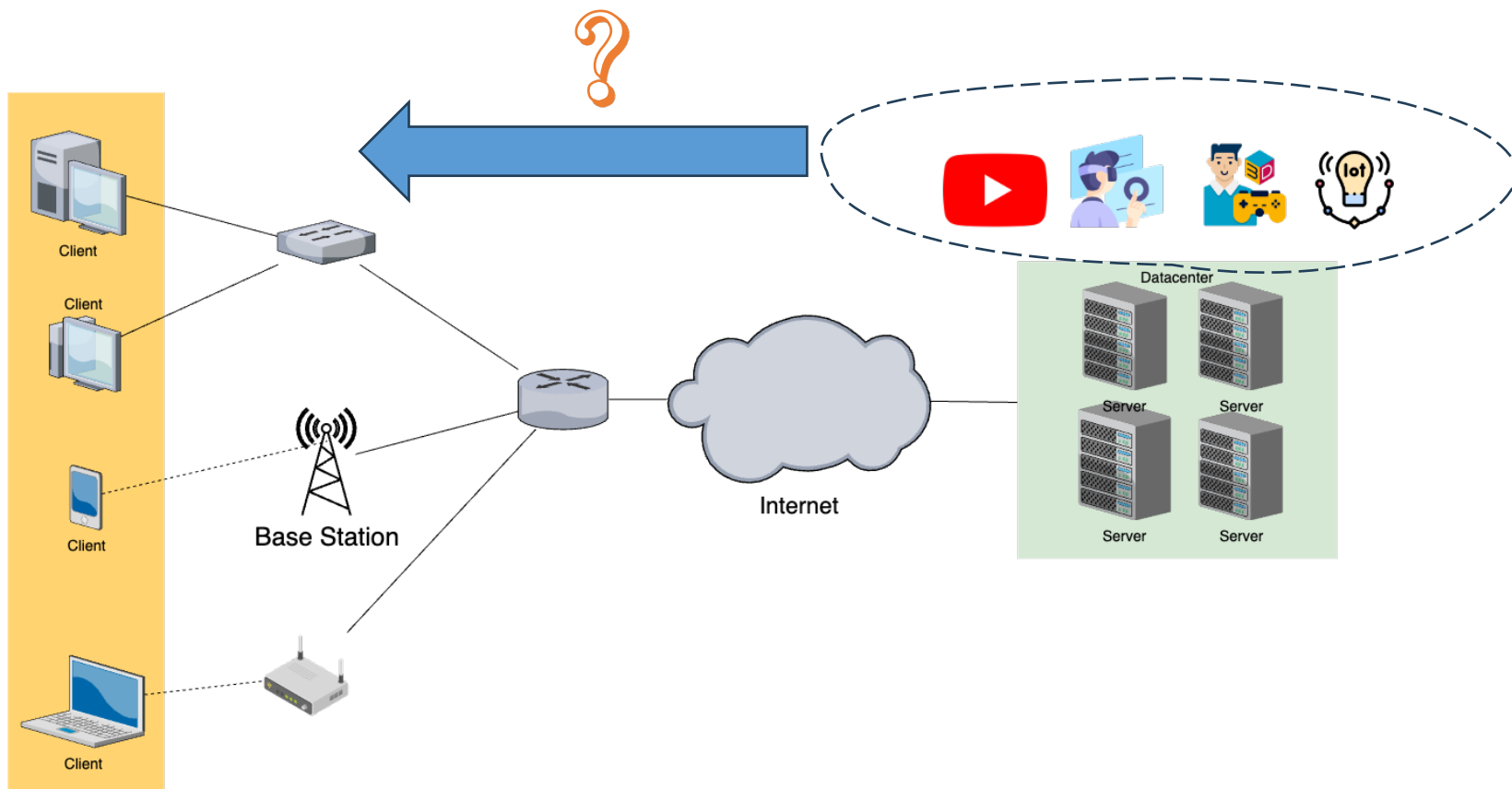
计算机网络

中间节点

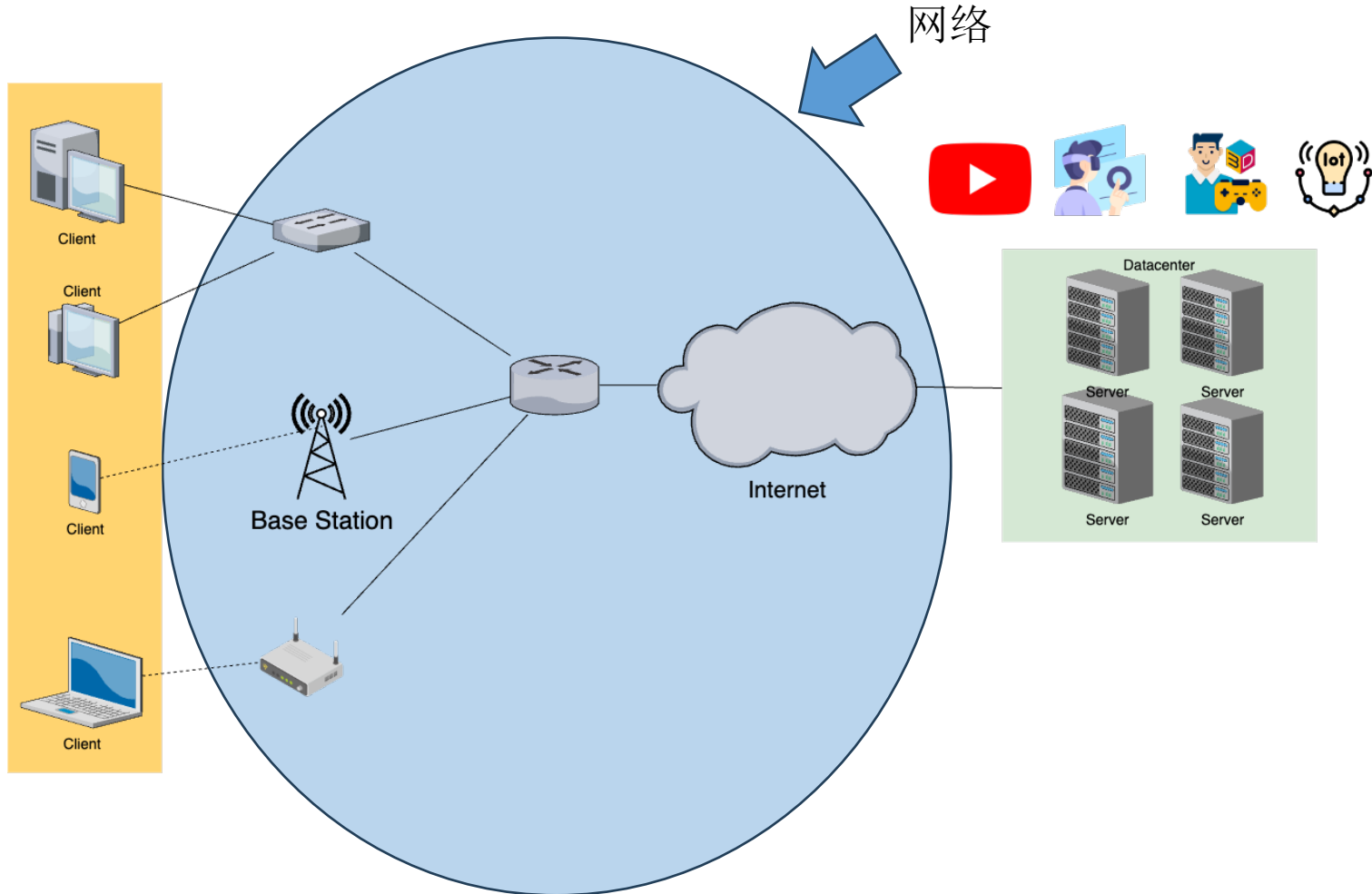
边缘节点



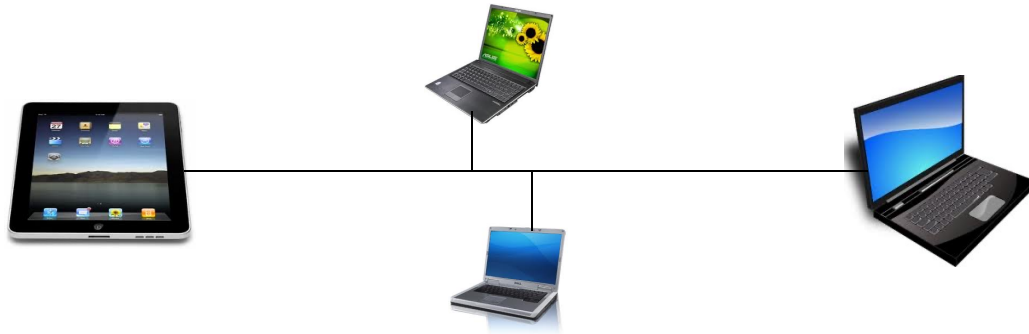
内容是如何通过网络传到终端的呢？



计算机网络拓扑结构

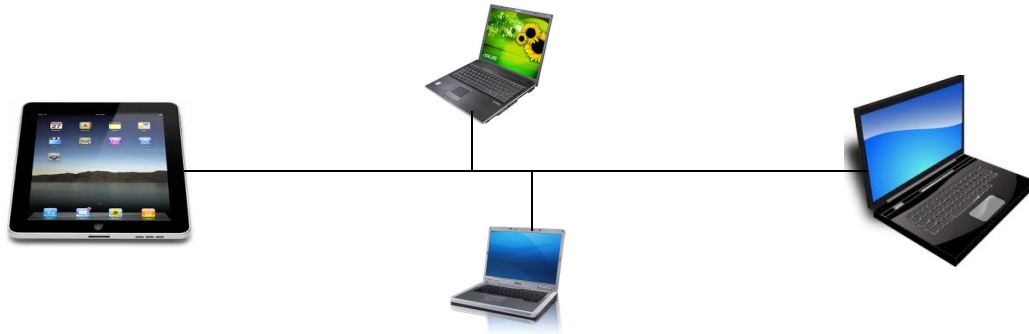


单链路多点接入网络



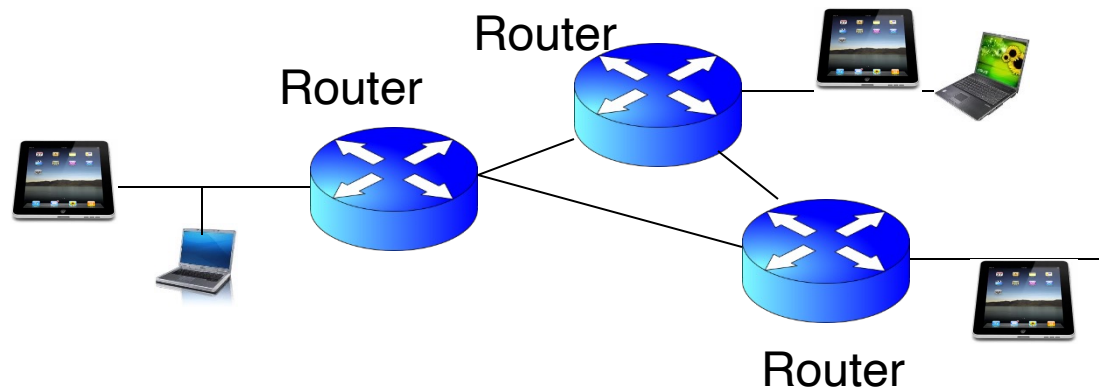
- 将数据以数据包或帧的形式发送
- 我们如何区分众多的接收者？ 每个端点都有一个链路级地址：也称为MAC地址
数据包上有一个目标地址
- 然而，不能让世界上的每台计算机都在同一链路上！
- 对单一链路上信息传输的功率/距离存在物理限制。

单链路多点接入网络



- 即使在单一链路上，也需要担心一些事情：
- 将数字数据转换为介质上的物理信号（**编码/解码**）
- 我们如何决定谁在发言？（**介质访问控制问题**）
- 检测和纠正错误

多链路网络



- 连接多个链路通过路由器
- 需要弄清楚如何从一个主机传送数据包到另一个主机，例如，如何从你的笔记本电脑访问 petrelli.github.io/zhe 被称为路由问题
- 关键问题：应该如何将数据包从 A 移动到 B？

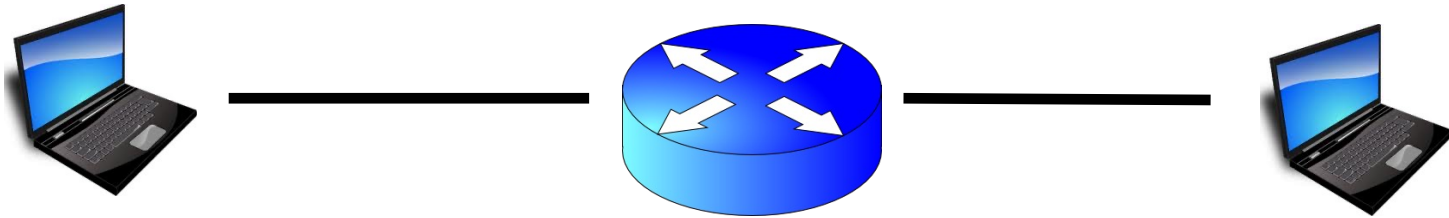
一般来说，网络不提供任何保证。

- 在传输过程中，数据包可能会丢失、损坏、重新排序，这是网络的特点之一。
 - 这称为“尽力而为的交付”，即网络会尽力传输数据，但不能保证数据的完整性和有序性。
 - **Best effort delivery**
- 优势：
 - 网络变得非常容易构建
 - 无需使其可靠 无需实现任何性能保证
 - 无需维护数据包的顺序 几乎任何介质都可以传送单个数据包
 - 示例：RFC 1149: “IP Datagrams over Avian Carriers”
- 早期的互联网之所以繁荣兴旺，是因为（短暂的）中断是可以接受的。



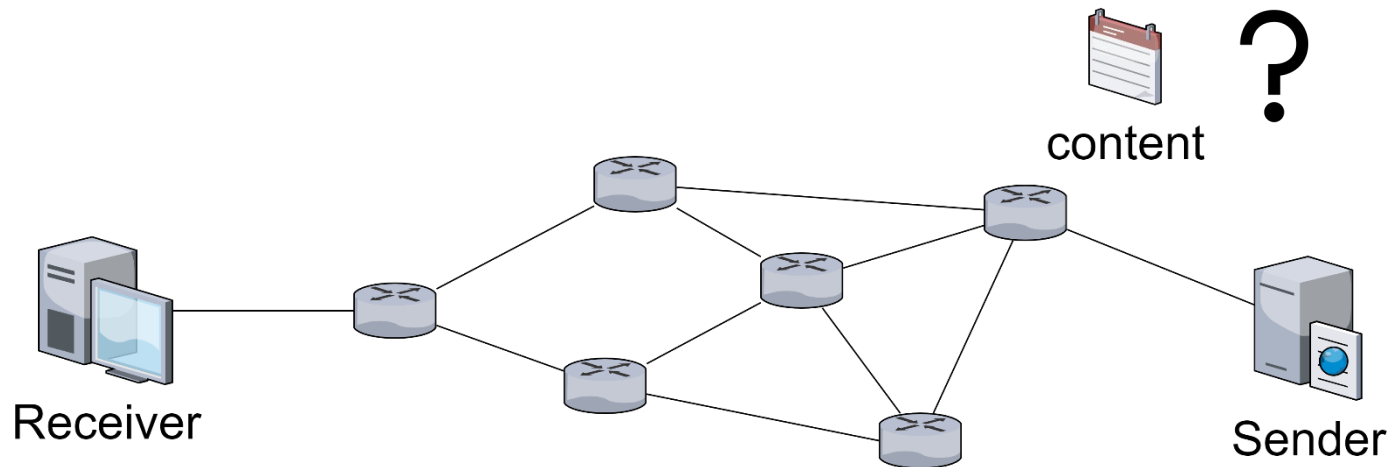
应用程序的保证

- 终端应如何向应用程序提供保证？



- 终端上的**传输软件**负责在不可靠的网络上实施保证。
- 需要解决**可靠数据传输**问题。
- 对于某些应用程序，还需要有序传输。

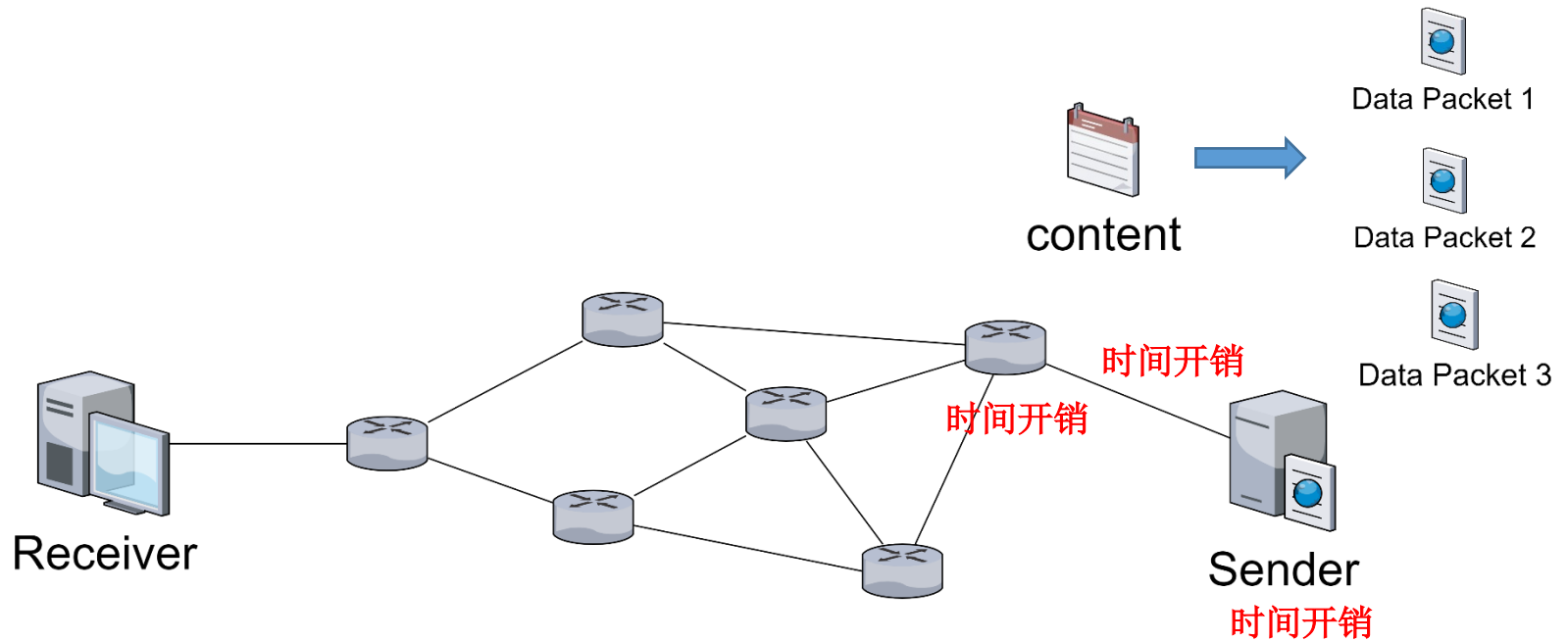
将数据发送到多链路网络



在接收者与发送者之间存在多种路径选择，应该如何选路呢？

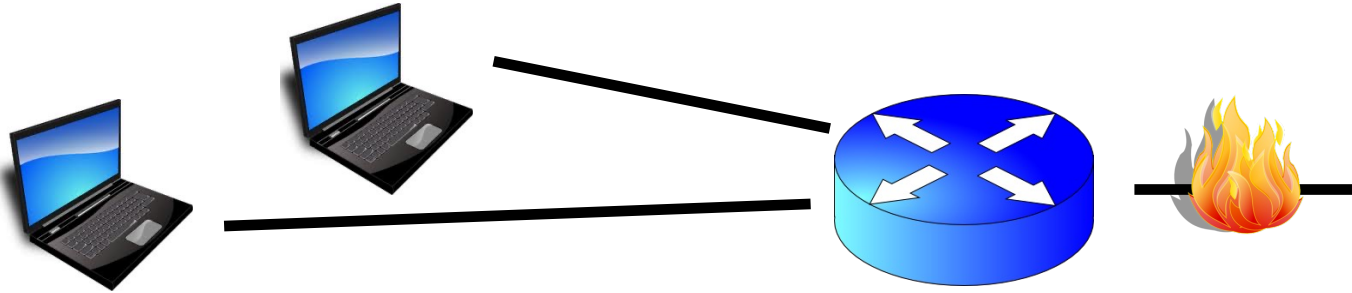
路由技术

分组交换（存储转发）



将数据发送到多链路网络

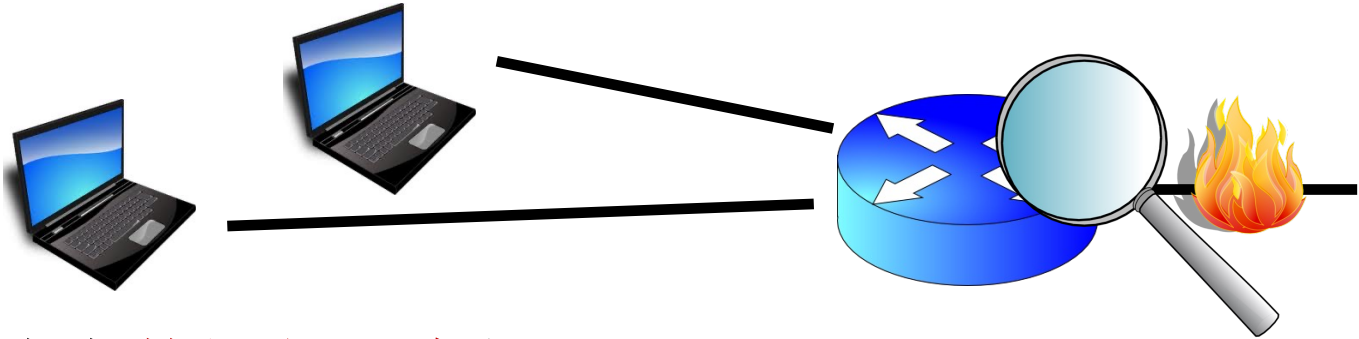
- 端点应该多快将数据发送到网络？



- 被称为拥塞控制问题
- 发端的拥塞控制算法会响应远程网络的拥塞情况。这是传输软件/硬件堆栈的一部分。
- 关键问题： 如何根据网络信号来调整发送速率？

将数据发送到多链路网络

- 当网络资源稀缺时，路由器应如何传输数据包？



- 这被称为**数据包调度**问题
- 关键问题：在受限制的网络链路上应该传输哪个数据包，以及何时传输？
- 相关问题：**缓冲区管理 (buffer management)** 问题

总结

- **链路**

- 数据传输的通路

- **终端/主机**

- 为终端用户运行应用程序的计算机。

- **路由器**

- 将数据包从输入链路路由到另一个输出链路的计算设备。

- **网络**

- 一组能够在其成员之间发送数据包的主机、链路和路由器。

内容纲要

Contents



01 课程与考试规则

02 计算机通信与网络的基本
概念

03 网络的类型及其特征

04 计算机通信协议与网络
通信结构



根据网络拓扑结构分类



根据网络覆盖范围分类



无线网络



1.3.1 网络拓扑结构分类

可根据不同的分类标准划分：

按网络的作用范围划分

PAN、LAN、MAN、WAN、Internet

按通信介质划分

有线网、无线网

按通信传播方式划分

点到点、广播、多播

按通信速率划分

1.544Mbps-100Mbps-1000Mbps

按网络使用者划分

公用网、专用网



1.3.1 网络拓扑结构分类

可根据不同的分类标准划分：

按网络交换功能划分

电路交换、报文交换、
分组交换、混合交换

按网络控制方式划分

集中式、分布式

按网络环境划分

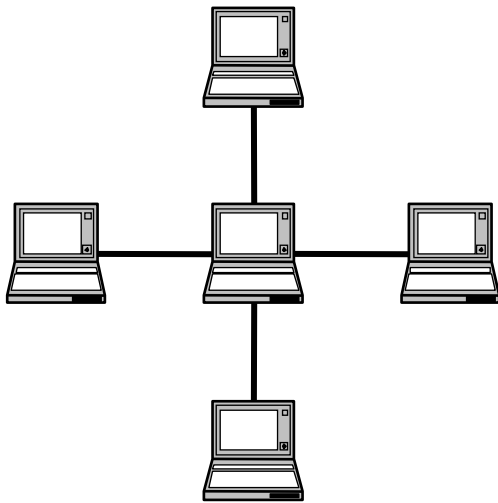
部门网、企业网、校园网

按网络拓扑结构划分

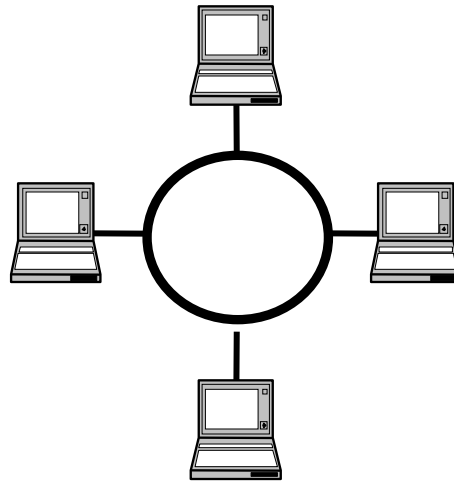
- 星形结构
- 层次结构或树形结构
- 总线形结构
- 环形结构

1.3.1 网络拓扑结构分类

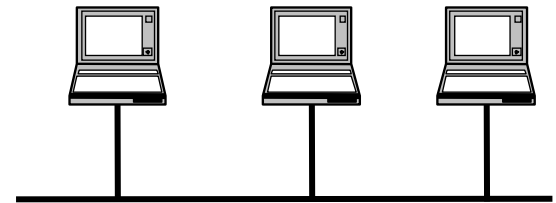
根据网络拓扑结构划分：



星型结构



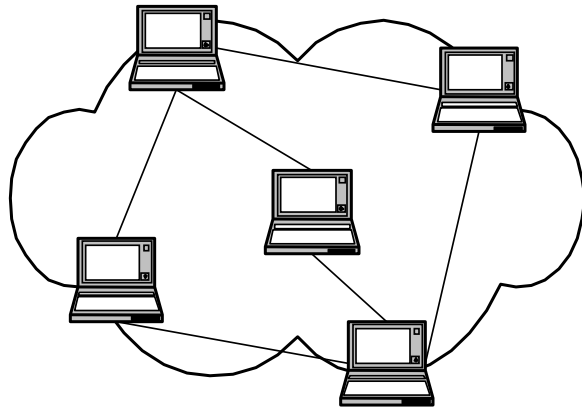
环型结构



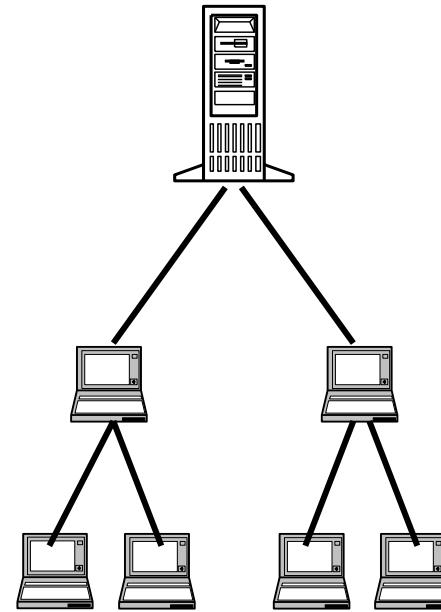
总线型拓扑

1.3.1 网络拓扑结构分类

根据网络拓扑结构划分：



网状结构



树型结构



1.3.1 网络拓扑结构分类

根据网络覆盖范围划分：

个人区域网 (PAN)

局域网 (LAN)

城域网 (MAN)

广域网 (WAN)

因特网 (Internet)

1.3.1 网络拓扑结构分类

根据网络覆盖范围划分：





1.3.1 网络拓扑结构分类

无线网络:

无线个域网

无线局域网

无线城域网

无线广域网

内容纲要

Contents



01 课程与考试规则

02 计算机通信与网络的基本
概念

03 网络的类型及其特征

04 计算机通信协议与网络
通信结构



通信协议与分层体系结构



OSI-RM体系结构



TCP/IP体系结构



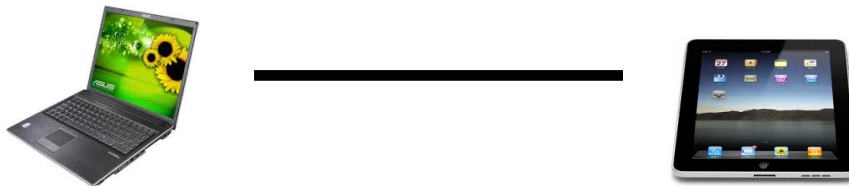
两种体系结构比较



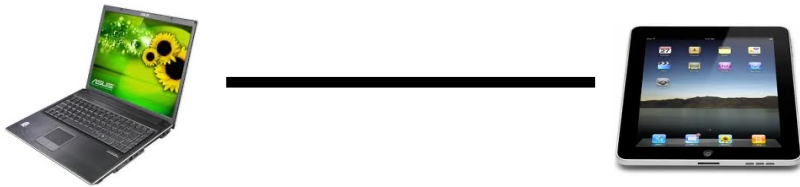
网络通信标准化组织

机器之间如何通信?

- 机器只认识“0”和“1”
 - 计算机只能处理0和1
 - 网络亦是如此
- 我们如何在网络中传输0和1呢?



单一链路上的物理信号传输



物理信号（光、交流电压等）通常是**模拟信号**。

通过**调制**来改变信号的物理特性来将数字信号转换为模拟信号：**编码**

通过**解码**物理信号将信号转换回数字信号。

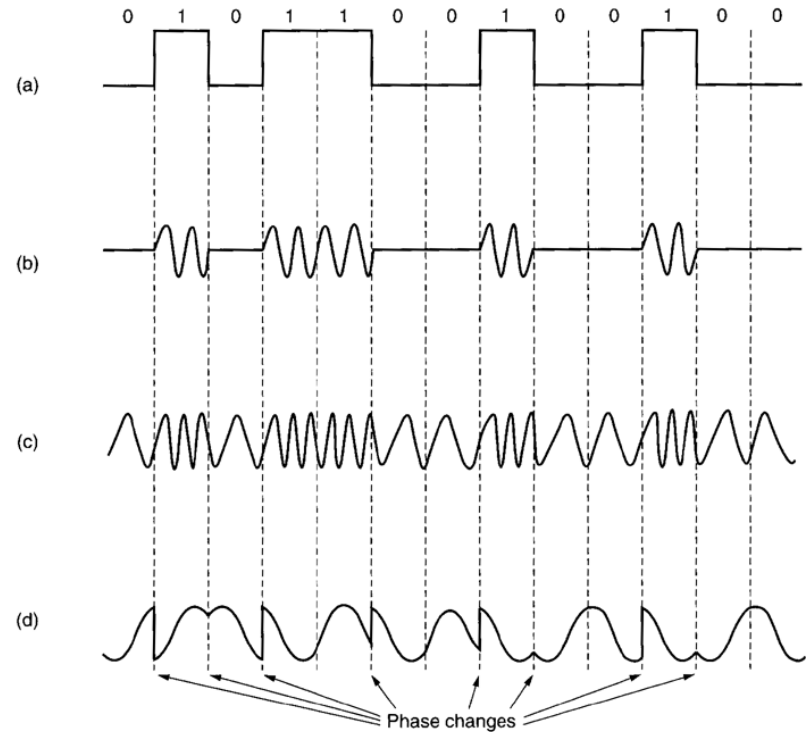
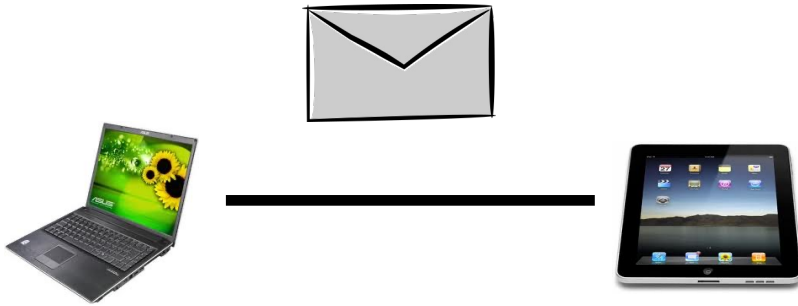


Fig. 2-18. (a) A binary signal. (b) Amplitude modulation. (c) Frequency modulation. (d) Phase modulation.

Rethink



- 应用程序
 - 如Email App
- 操作系统
- 硬件
 - 如网卡
- 物理链路
- 中间节点
 -

1.4.1 通信协议与分层体系结构

为什么要分层

➤ 计算机通信的两层才行，

➤ “分层”可以将庞大而复杂的问题，转化为若干较小的局部问题，而这些较小的局部问题就比较易于研究和处理。



相互沟通协调工作复杂的。



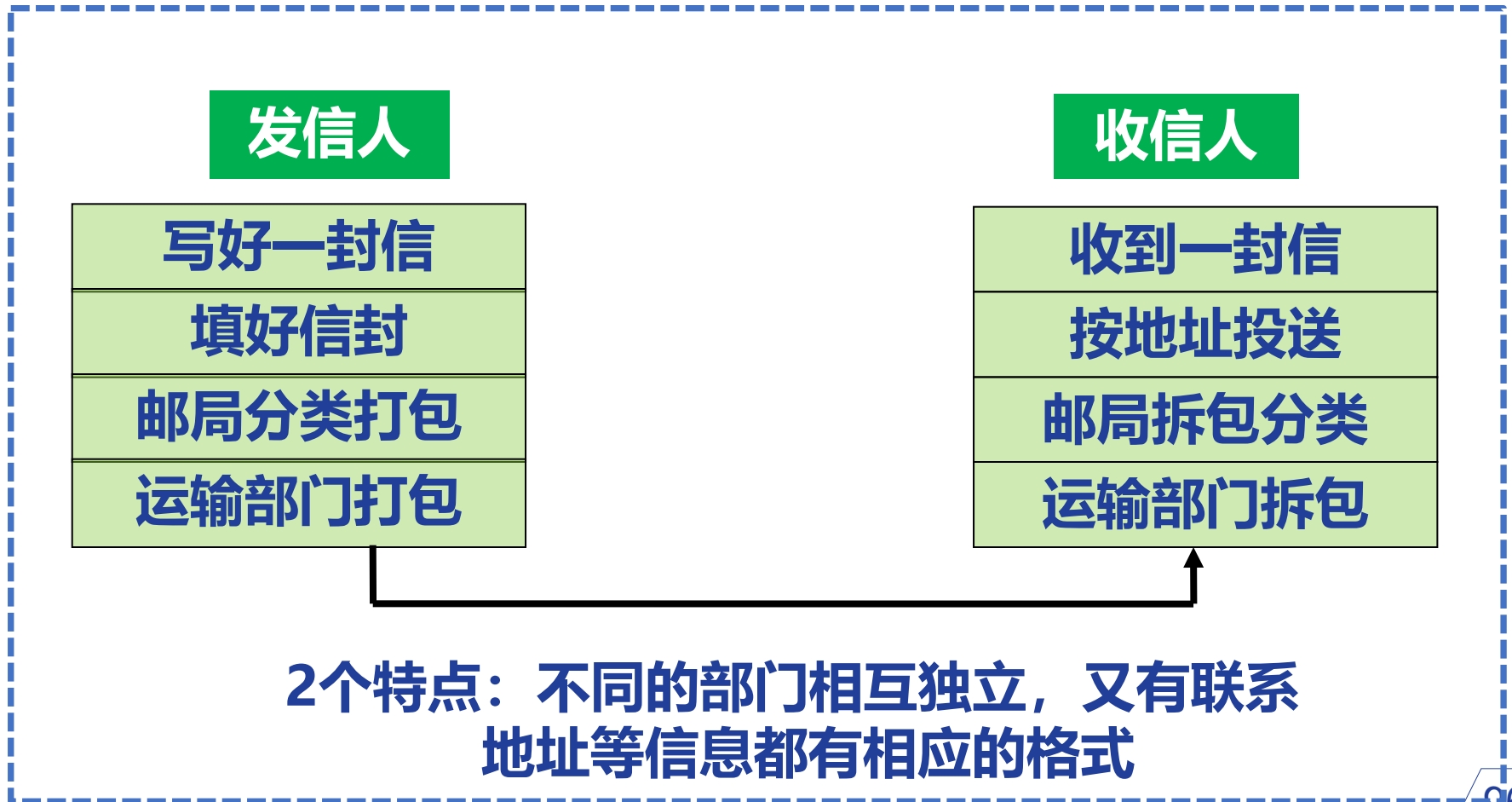
1.4.1 通信协议与分层体系结构

例题：一封信件的写作与发送过程

- ① 首先发信人采用某种语言写成一封信，按照某种格式填好地址，投入到信箱中。
- ② 邮局收集信件，按照目的地址进行分类打包，并送到邮政处理中心。
- ③ 处理中心汇集各个邮包，并进行再次分类，送到铁路等运输部门。
- ④ 运输部门将邮包送到目的地的邮政处理中心。
- ⑤ 目的地的邮政处理中心解包后根据目的地址，将信件送到相应的邮政分理处。分理处将信件送到收信人。收信人最终拆开信封，阅读信函。

1.4.1 通信协议与分层体系结构

例题：一封信件的写作与发送过程





1.4.1 通信协议与分层体系结构

网络协议定义：

简单地说，协议是指通信双方必须遵循的、控制信息交换的**规则的集合**，是一套语义和语法规则，用来规定有关功能部件在通信过程中的操作，它定义了数据发送和接收工作中必经的过程。协议规定了网络中使用的格式、定时方式、顺序和检错。

1.4.1 通信协议与分层体系结构

网络协议的组成：

- ① **语法**：指数据与控制信息的结构或格式，确定通信时采用的数据格式，编码及信号电平等，回答“怎么讲”；
- ② **语义**：协议的语义是指对构成协议的协议元素含义的解释“讲什么”；
- ③ **同步**：规定了事件的执行顺序。

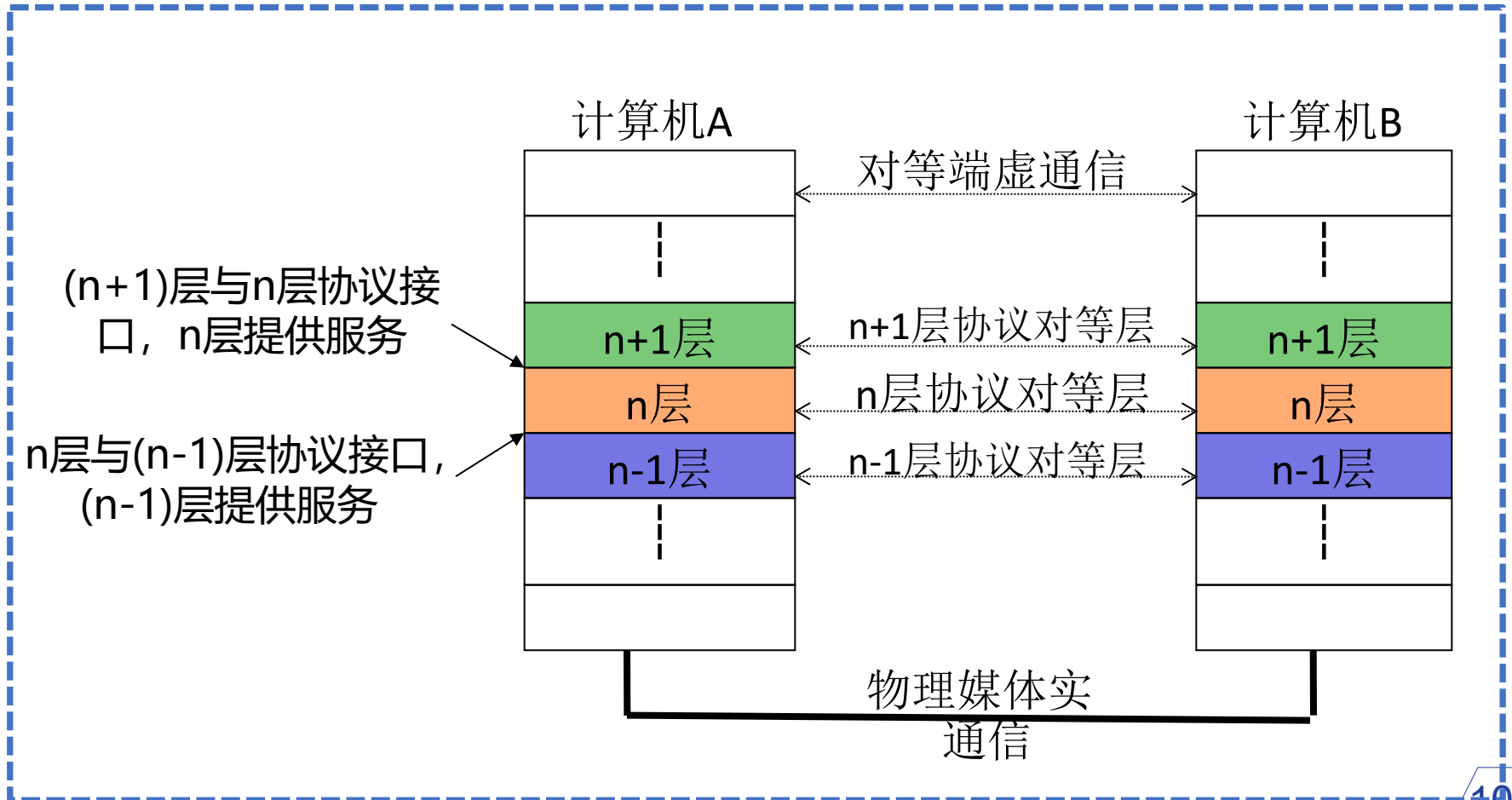
1.4.1 通信协议与分层体系结构

网络协议的特点：

- ① 网络通信协议的特点是**层次性、可靠性和有效性**。
- ② 协议的分层可以将复杂的问题简单化
- ③ 协议可靠性和有效性是正常和正确通信的保证，只有协议可靠和有效，才能实现系统内各种资源共享。

1.4.1 通信协议与分层体系结构

协议层次模型：





1.4.1 通信协议与分层体系结构

协议层次模型：

- **实体(Entity)**：是通信时能发送和接收信息的任何软硬件设施；
- **接口(Interface)**：是指网络分层结构中各相邻层之间的通信接口。



1.4.1 通信协议与分层体系结构

协议分层的意义：

- 各层之间是独立的。
- 灵活性好。
- 结构上可分割开。
- 易于实现和维护。
- 能促进标准化工作。

1.4.1 通信协议与分层体系结构

层次多少要恰当：

- ① 若层数太少，就会使每一层的协议太复杂。
- ② 层数太多又会在描述和综合各层功能的系统工程任务时遇到较多的困难。
- ③ 设置合理的层数，有利于描述和综合这些层次功能。

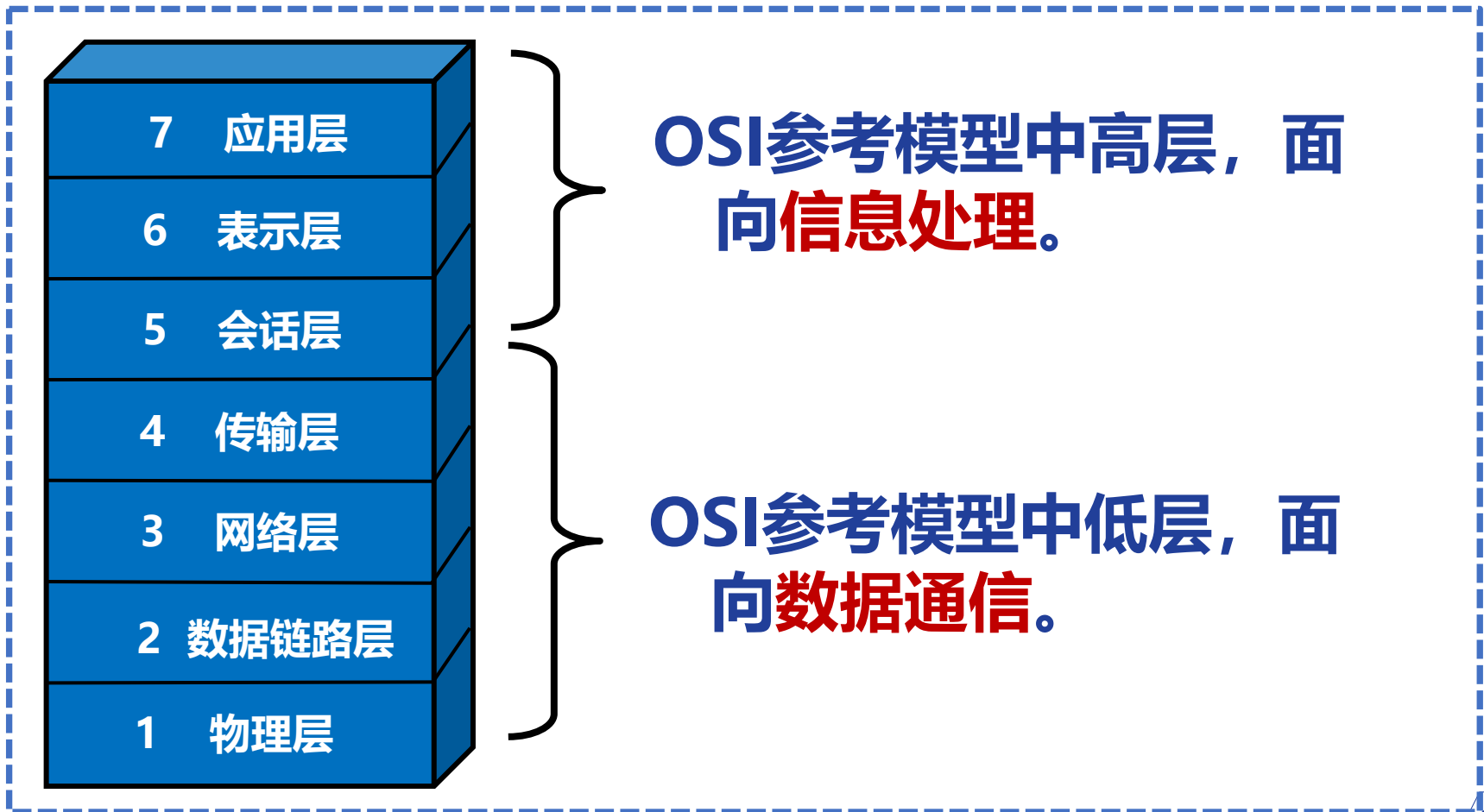
1.4.1 通信协议与分层体系结构

分层的原则:

- 按功能分层、归类，每层功能应明确、独立。
- 层与层的接口适合于标准化，其边界的信息流应尽可能少。
- 每一层只与相邻层有边界。
- 为满足各种通信服务需要，在一层内可形成若干子层。

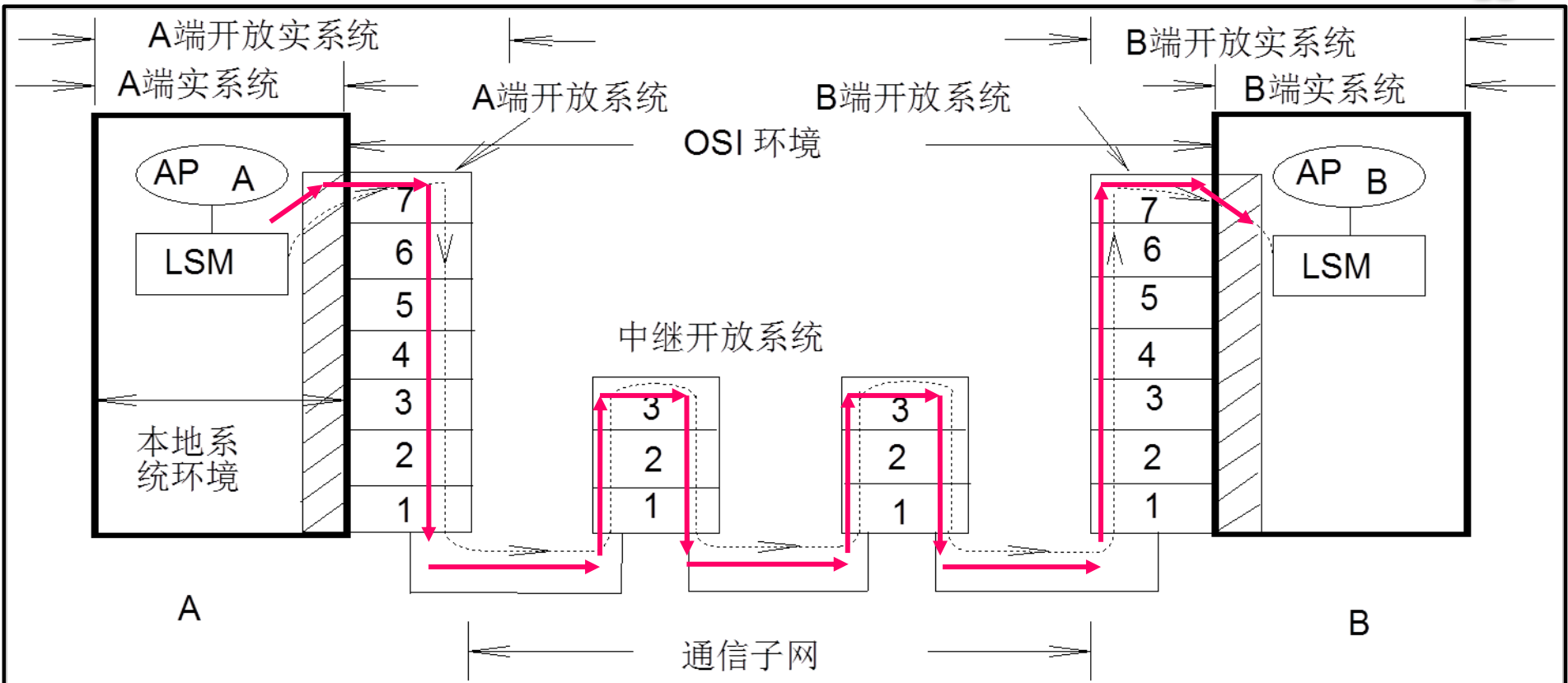
1.4.2 OSI-RM体系结构

OSI-RM模型:





1.4.2 OSI-RM体系结构



AP_应用进程 LSM_本地系统管理模块

计算机通信网的信息流动

1.4.2 OSI-RM体系结构

OSI-RM模型:

- **物理层**: 利用传输介质为通信的网络节点之间建立、维护和释放物理连接, 实现比特流的透明传输, 进而为数据链路层提供数据传输服务。
- **数据链路层**: 在物理层提供服务的基础上, 在通信的实体间建立数据链路连接, 传输以帧(frame)为单位的数据包, 并采取差错控制和流量控制的方法, 使有差错的物理线路变成无差错的数据链路。
- **网络层**: 为分组交换网络上的不同主机提供通信服务, 为以分组为单位的数据报通过通信子网选择适当的路由, 并实现拥塞控制、网络互连等功能。



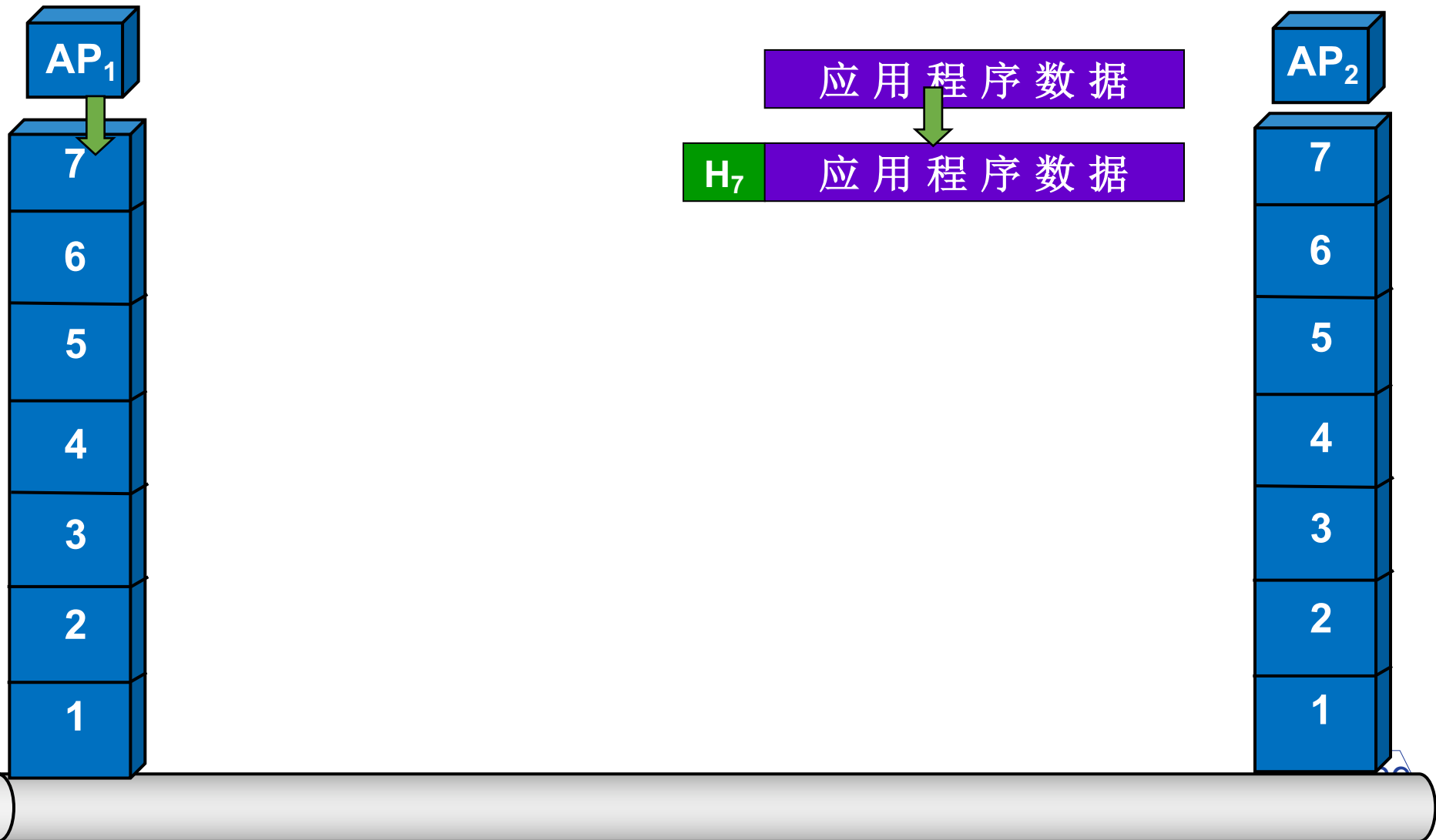
1.4.2 OSI-RM体系结构

OSI-RM模型：

- **传输层**：向用户提供端到端（end-to-end）的数据传输服务，实现为上层屏蔽低层的数据传输问题。
- **会话层**：负责维护通信中两个节点之间的会话连接的建立、维护和断开，以及数据的交换。
- **表示层**：用于处理在两个通信系统中交换信息的表示方式，主要包括数据格式变换、数据的加密与解密、数据压缩与恢复等功能。
- **应用层**：为应用程序通过网络服务，它包含了各种用户使用的协议。

OSI-RM模型:

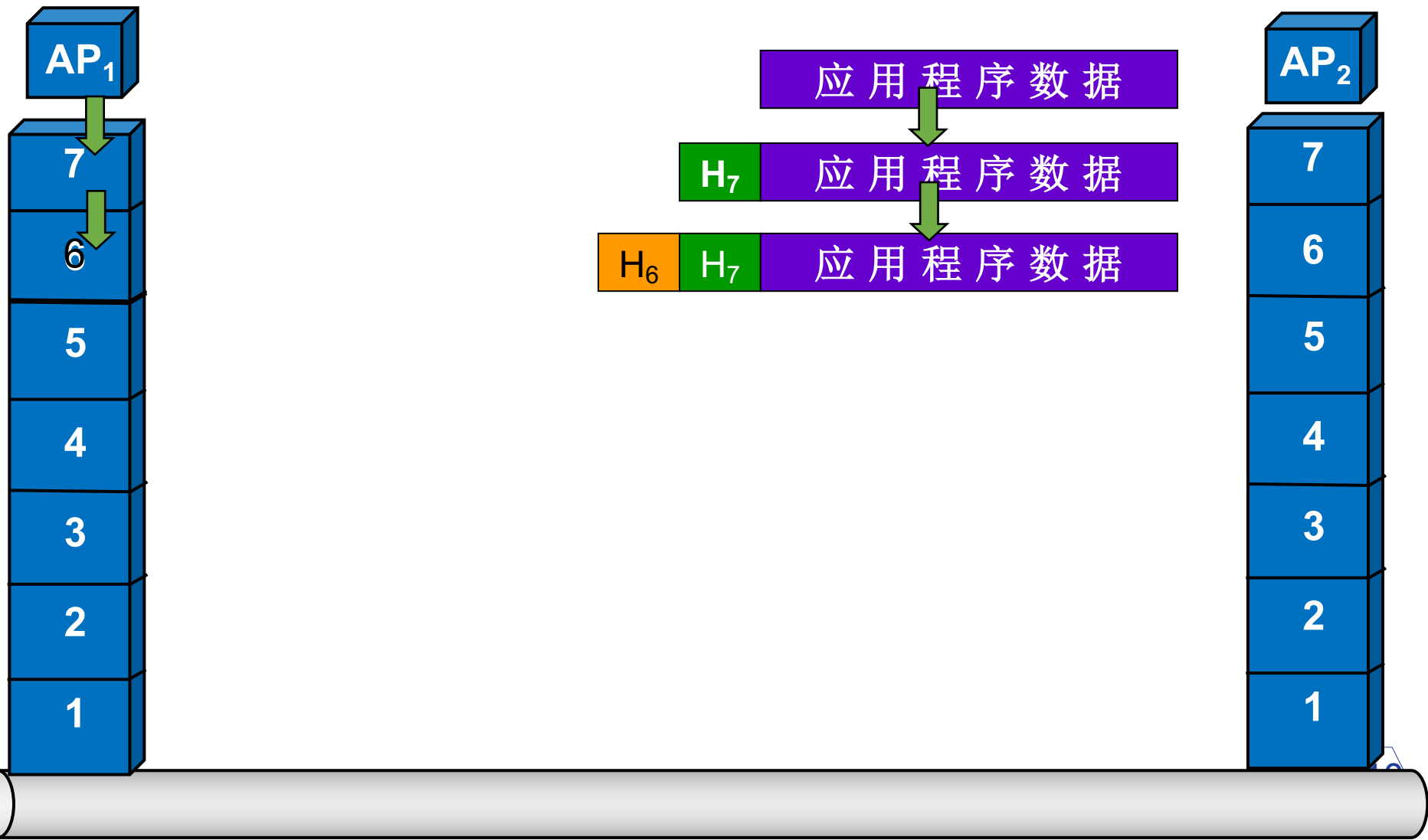
1.4.2 OSI-RM体系结构 >>





OSI-RM模型:

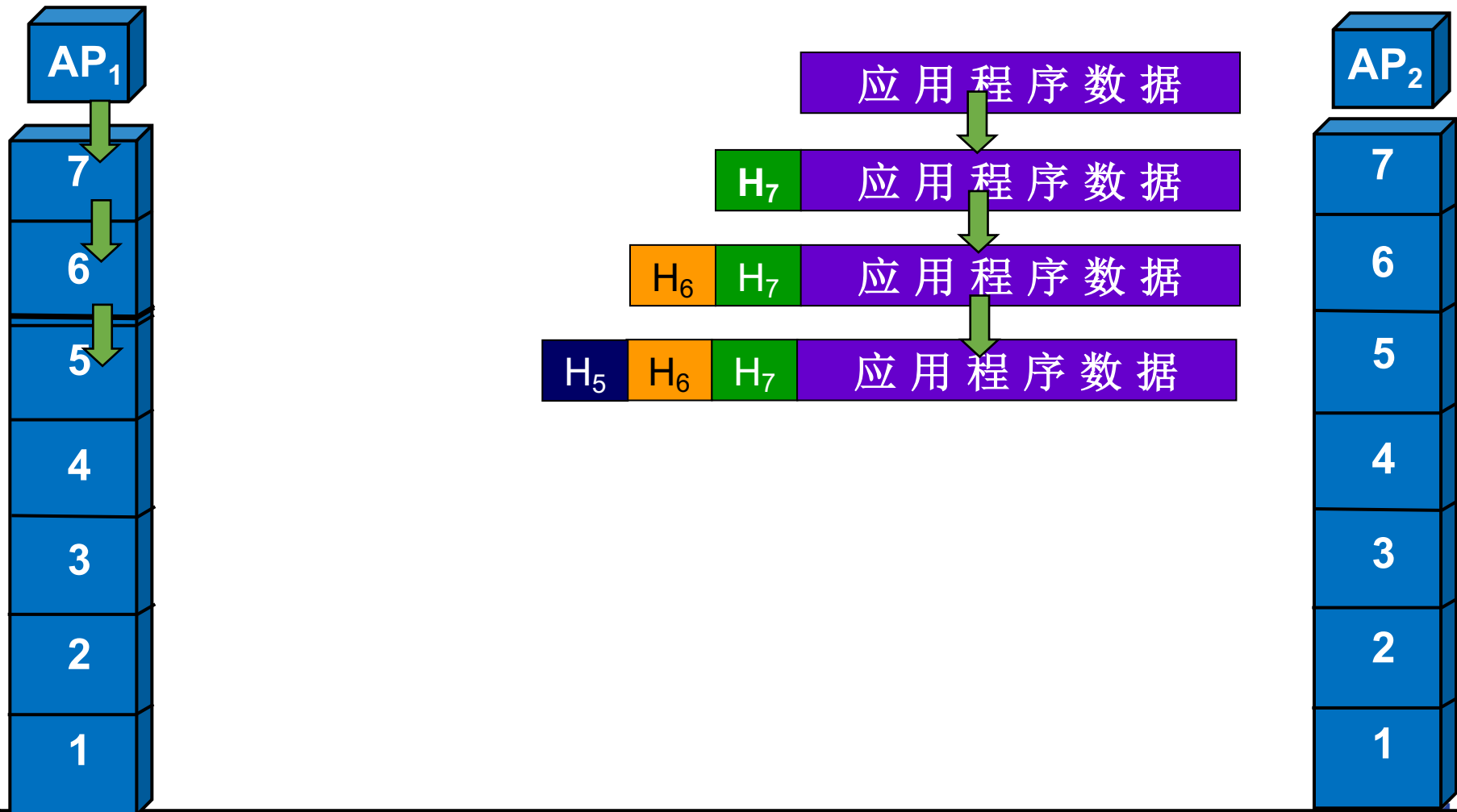
1.4.2 OSI-RM体系结构





OSI-RM模型:

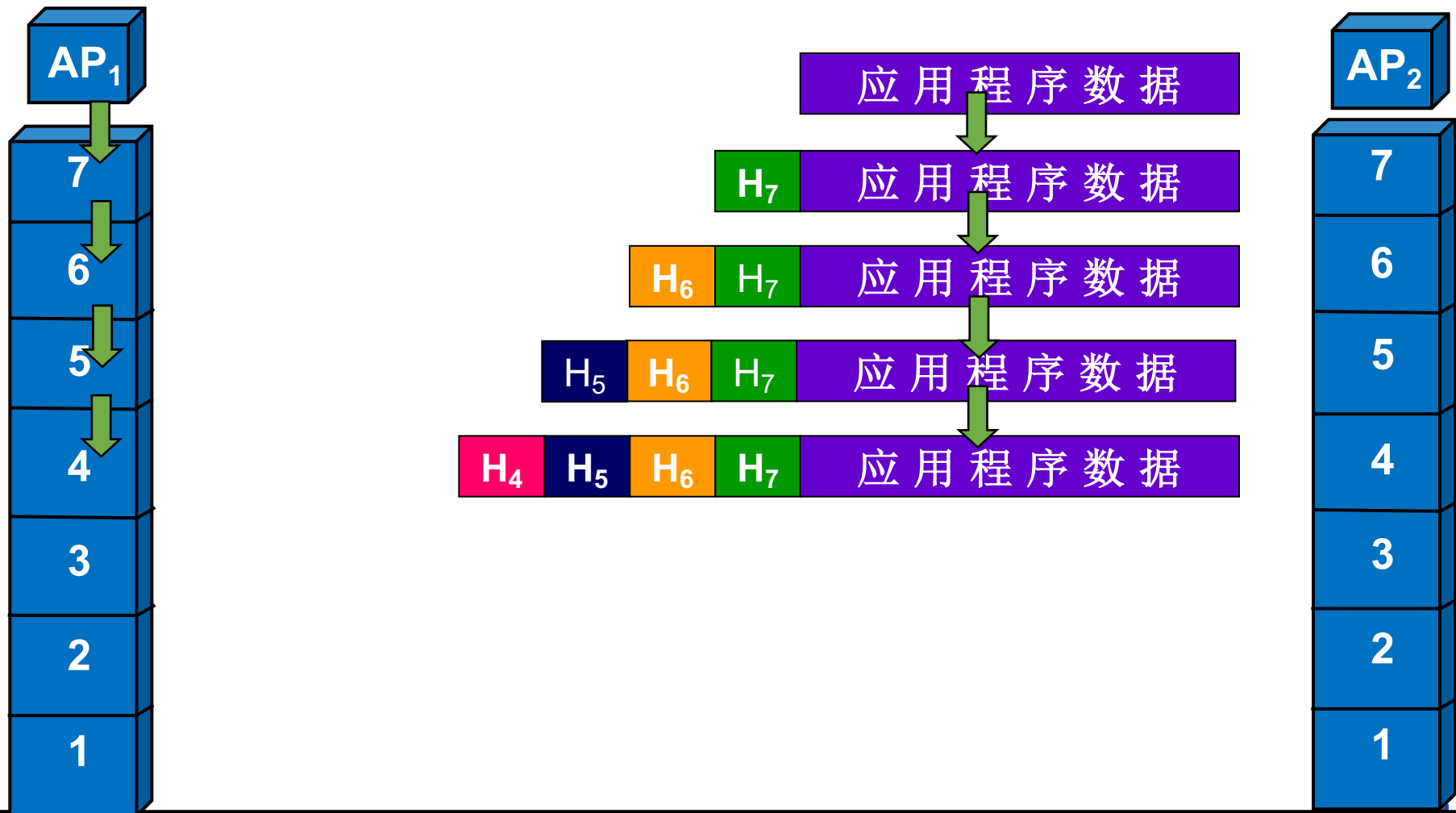
1.4.2 OSI-RM体系结构





OSI-RM模型:

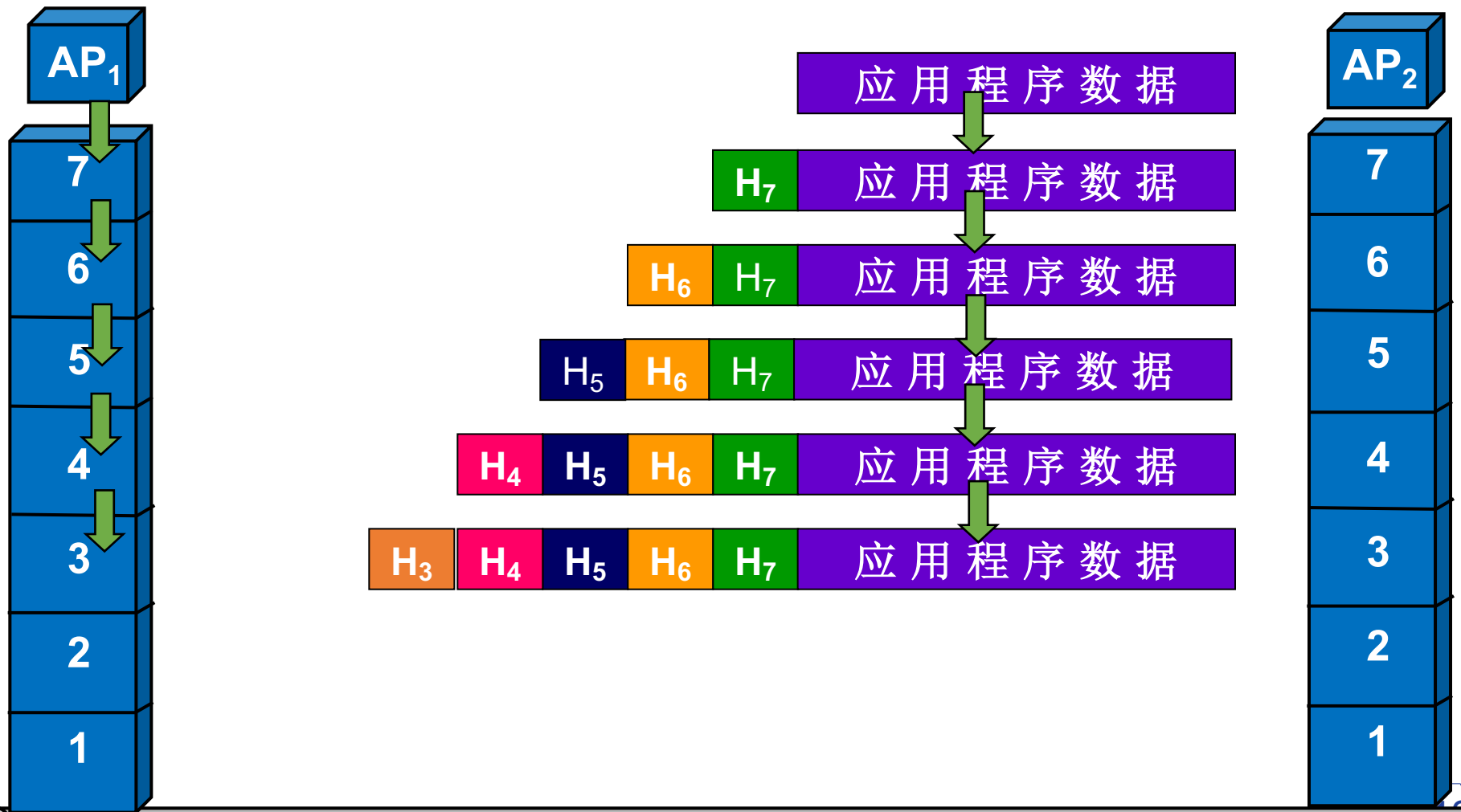
1.4.2 OSI-RM体系结构





OSI-RM模型:

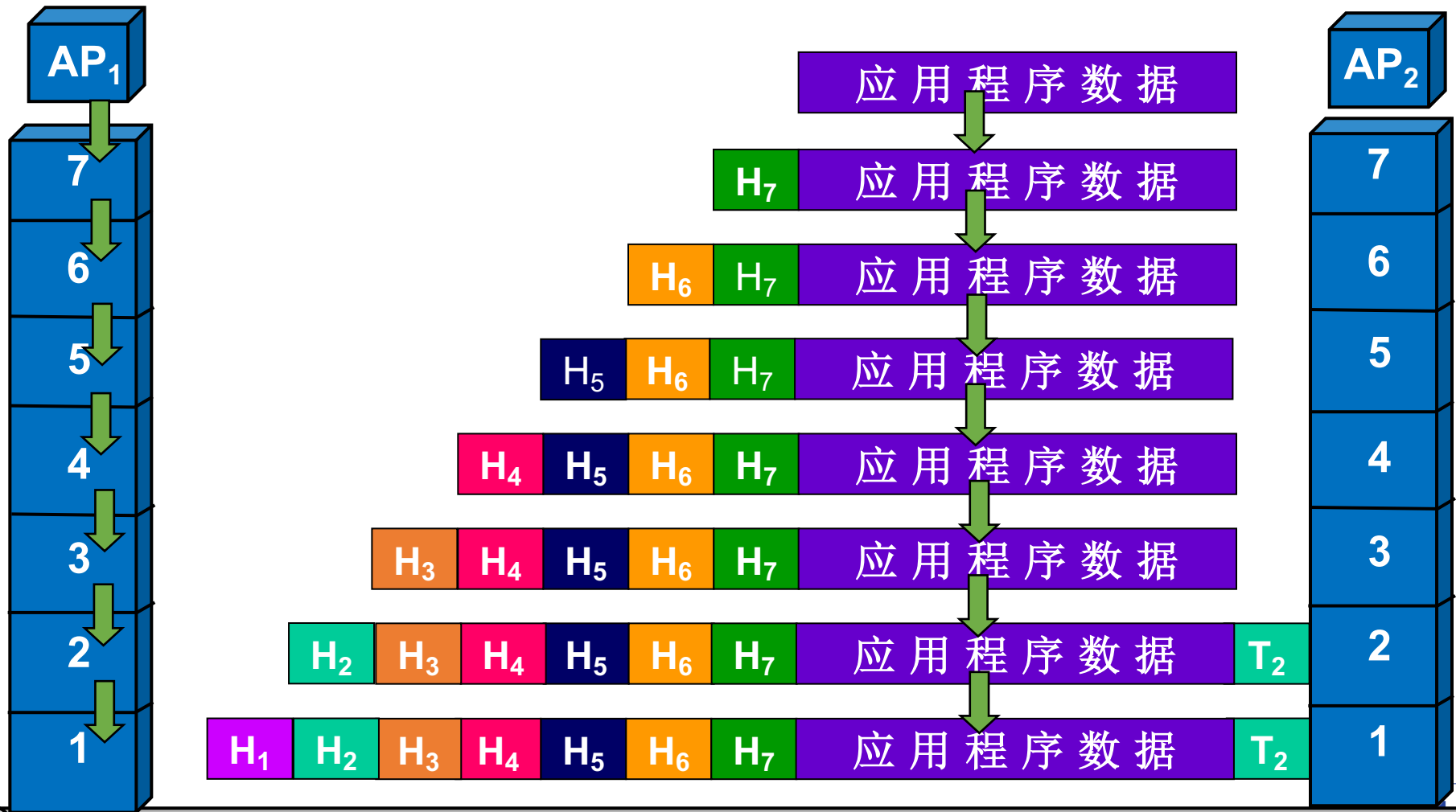
1.4.2 OSI-RM体系结构





OSI-RM模型:

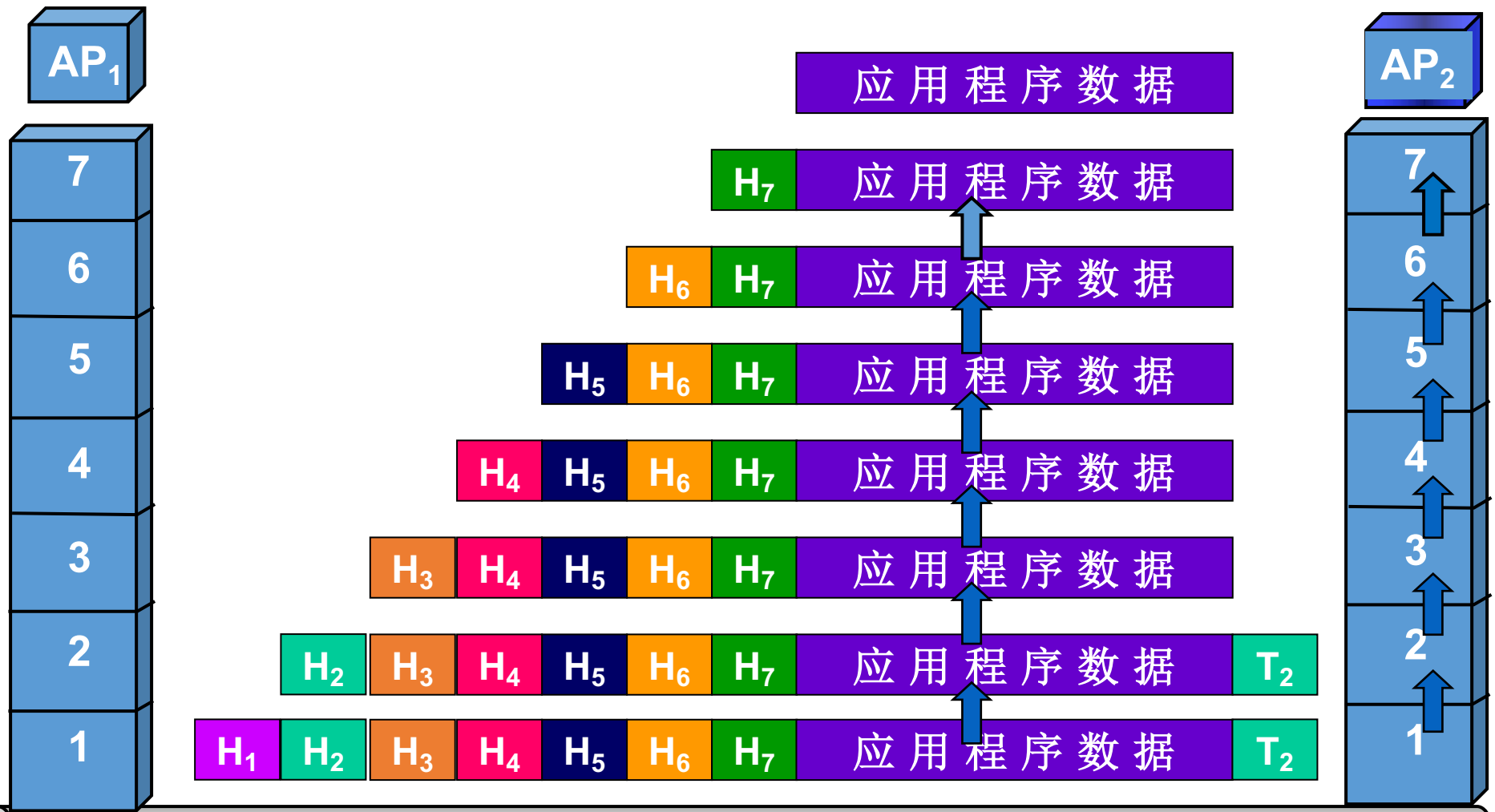
1.4.2 OSI-RM体系结构





OSI-RM模型:

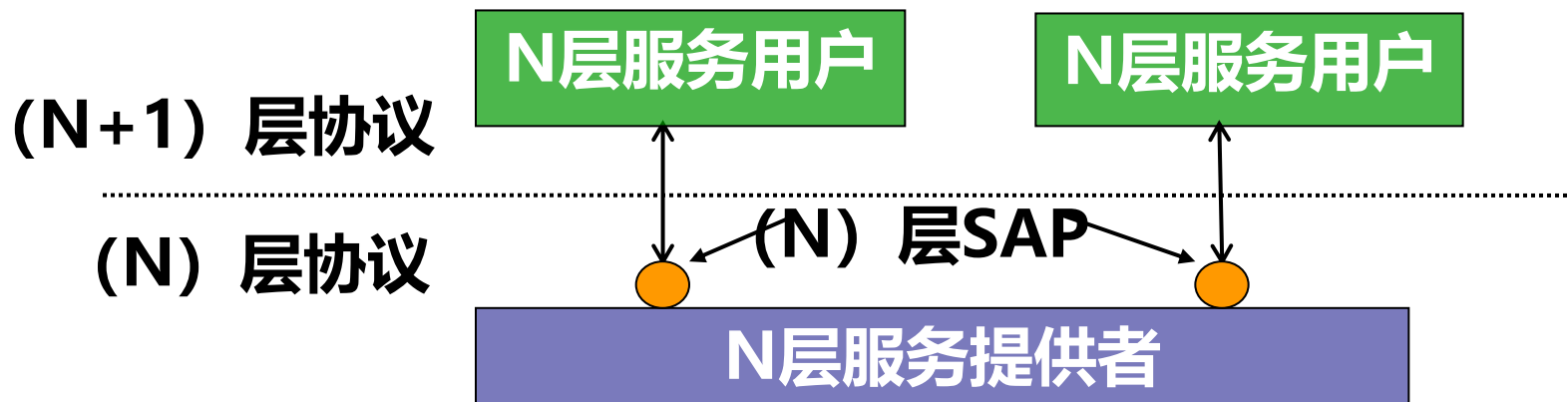
1.4.2 OSI-RM体系结构



1.4.2 OSI-RM体系结构

服务服务点 (SAP) :

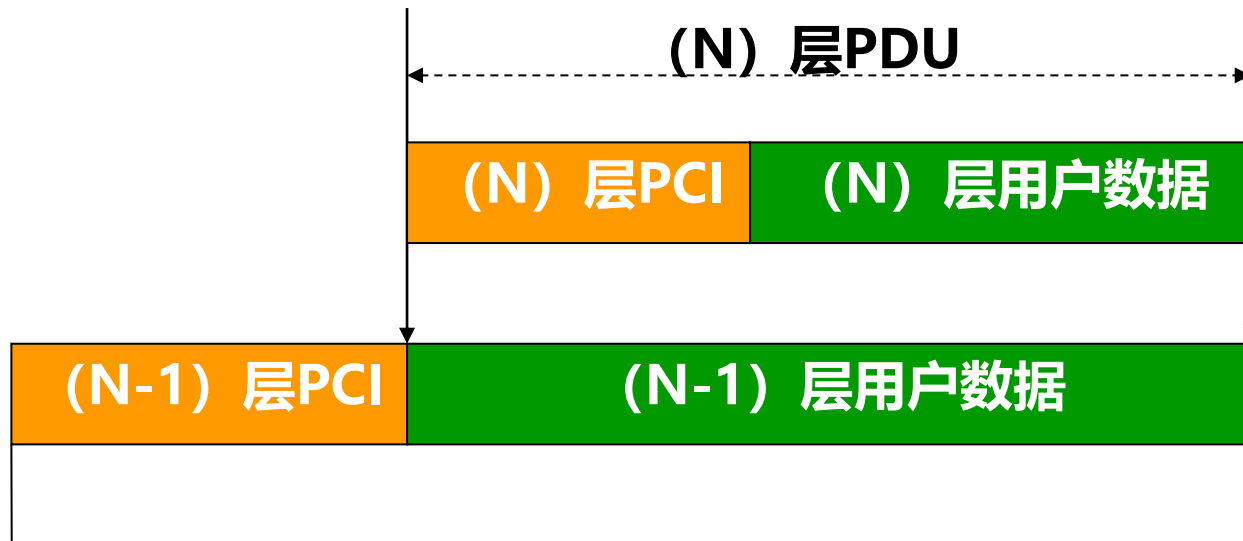
- OSI各层间存在信息交换，一个系统中的相邻两个层次间的信息交换是通过服务访问点(Service Access Point, SAP)这样的接口实现的。
- SAP实际上就是(N)层实体和上一层(N+1)层实体之间的逻辑接口。





1.4.2 OSI-RM体系结构

协议数据单元 (PDU) :





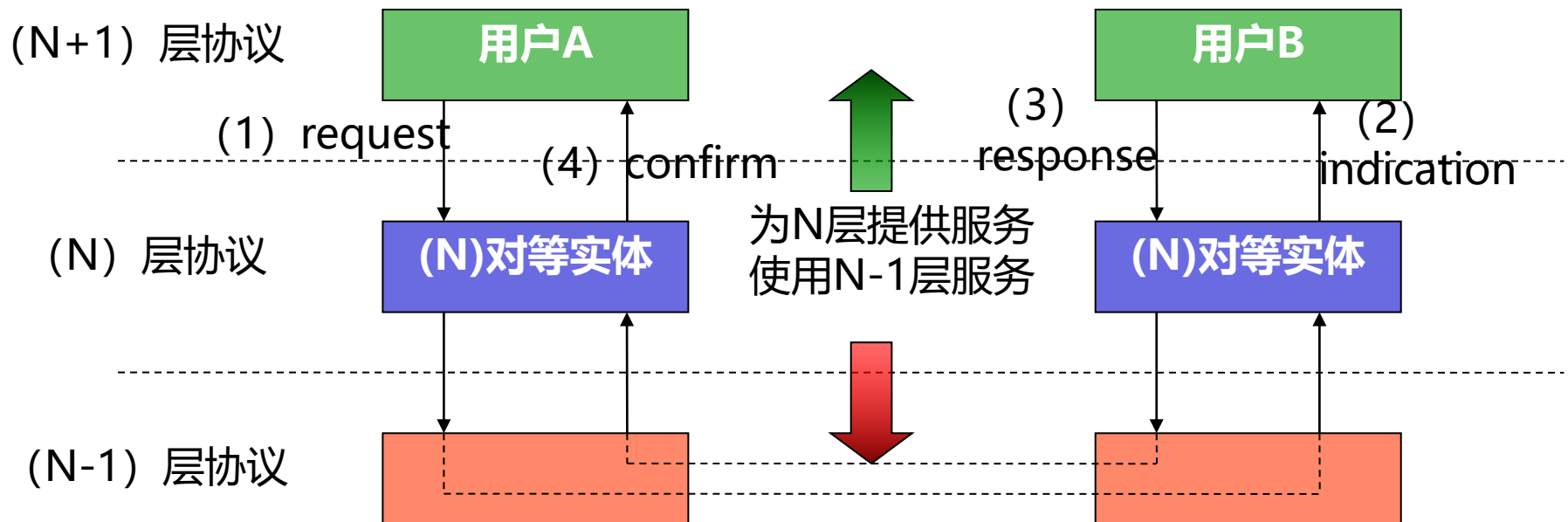
1.4.2 OSI-RM体系结构

OSI中的服务原语:

服务原语类型	名称	含义
request	请求	一个实体希望获得某种服务
indication	指示	把关于某种事件的信息告诉某一实体
response	回应	一个实体对某一事件的回应
confirm	确认	一个实体对某一事件的确认

1.4.2 OSI-RM体系结构

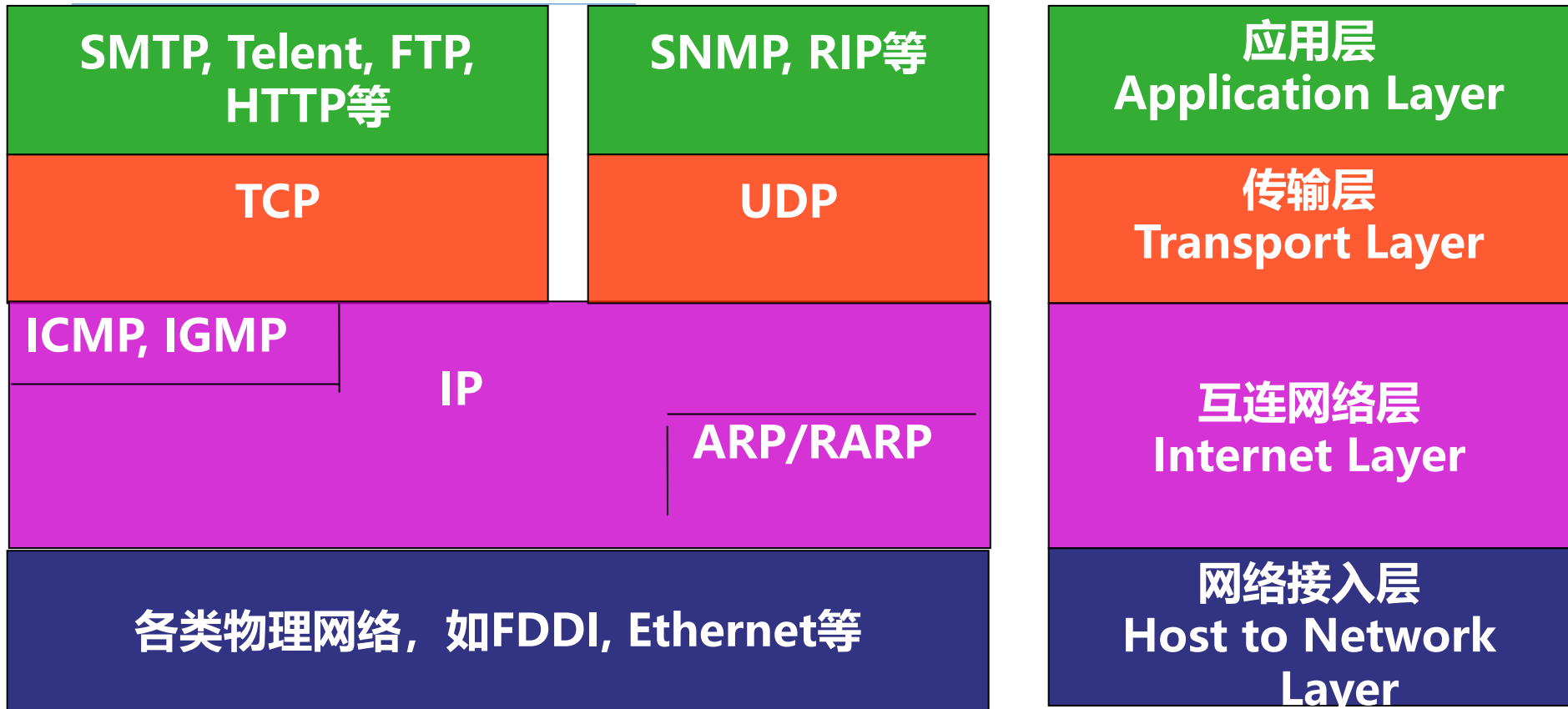
OSI中的服务原语:





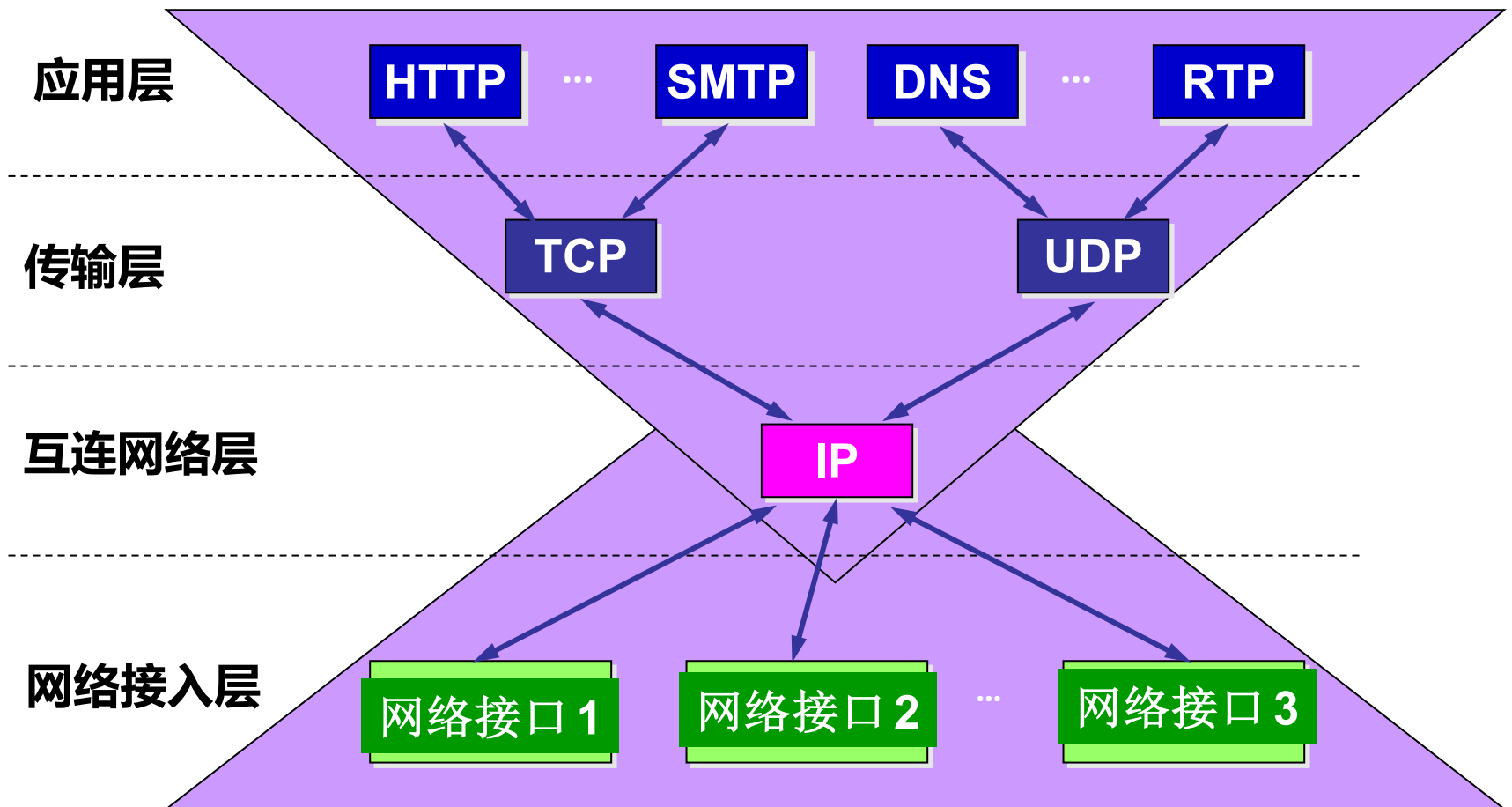
1.4.3 TCP/IP体系结构

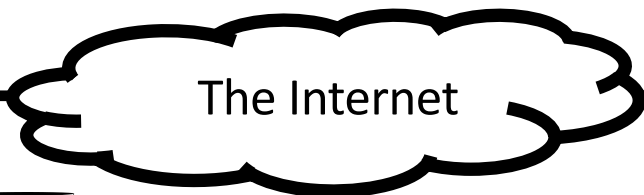
各层的协议:



1.4.3 TCP/IP体系结构

漏斗状协议族:

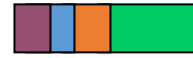
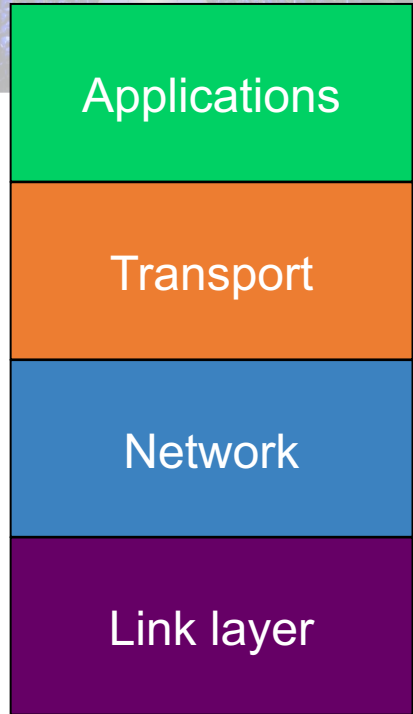
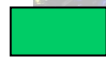


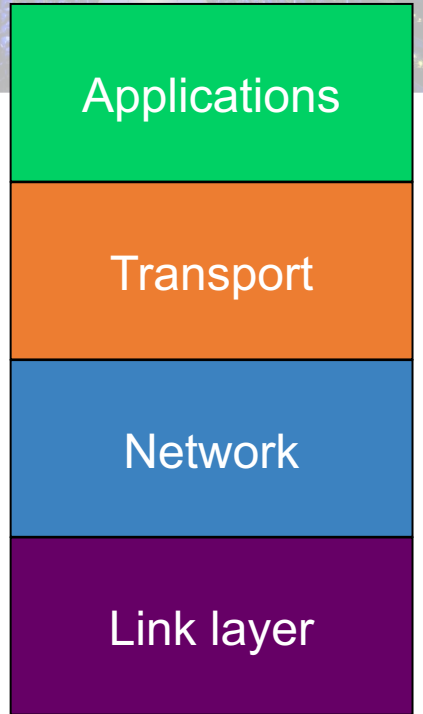
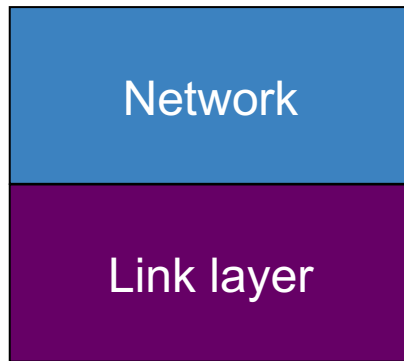
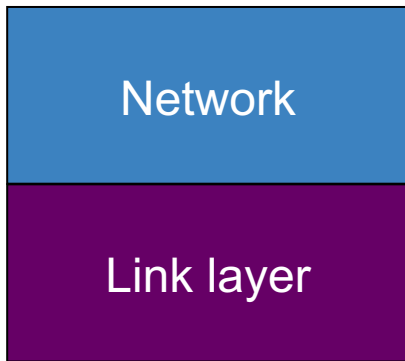
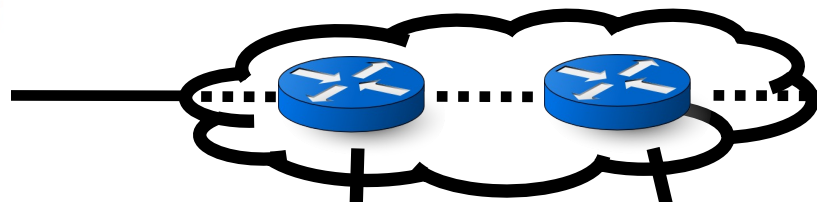


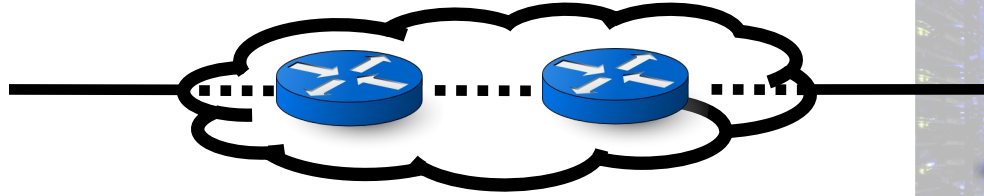
Packet starts as an app "payload"



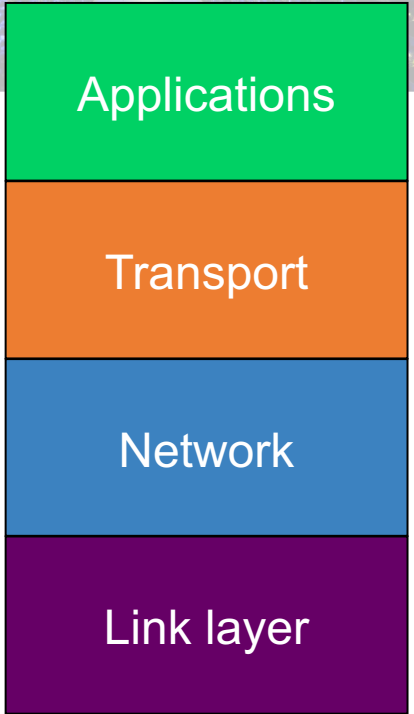
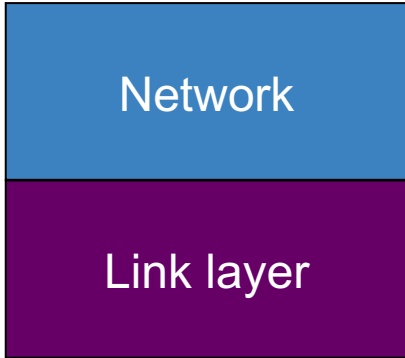
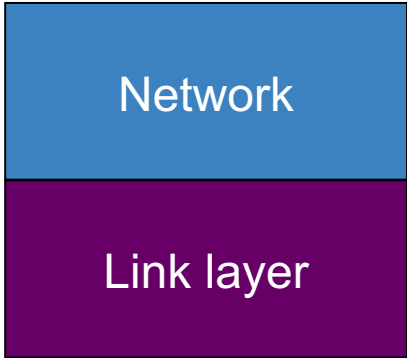
Packet takes on headers at each layer







Routers do not typically have transport or app functionality (more on this later.)



1.4.3 TCP/IP体系结构

各层的协议:

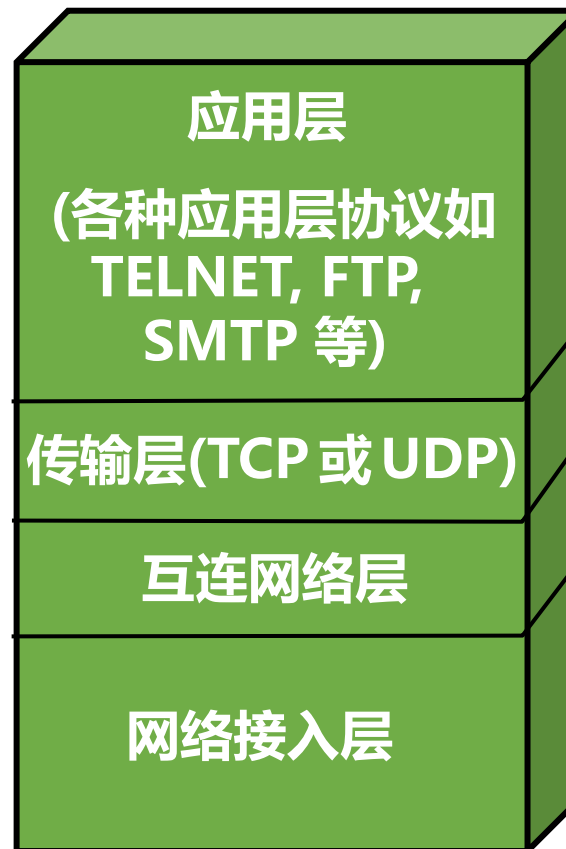
- 应用层的协议相对较多，分别使用UDP和TCP协议进行承载，它们位于各自的上方。
- 网络层除核心协议IP外，还有ICMP、IGMP、ARP和RARP，分别位于IP协议的上下方。
- TCP/IP模型中的核心协议是TCP、UDP和IP，且呈现漏斗状，IP协议处于漏斗的最窄处。

1.4.4 OSI-RM和TCP/IP体系结构比较 >>

OSI 的体系结构



TCP/IP 的体系结构



1.4.4 OSI-RM和TCP/IP体系结构比较

• 出发点不同：

- OSI-RM是作为国际标准而制定的,不得不兼顾各方,考虑各种情况,造成OSI-RM相对比较复杂,协议的数量和复杂性都远高于TCP/IP。
- 早期TCP/IP协议是为军用网ARPANET设计的体系结构,一开始就考虑了一些特殊要求,如可用性,残存性,安全性,网络互联性以及处理瞬间大信息量的能力等。

1.4.4 OSI-RM和TCP/IP体系结构比较

- **对一些问题的处理方法不同：**

- 对层次间的关系：OSI-RM模型严格按层次结构，而TCP/IP可以跨层；
- 无连接服务问题：OSI-RM模型只考虑面向连接的服务，而TCP/IP同时还考虑无连接服务

1.4.4 OSI-RM和TCP/IP体系结构比较

按照一般的概念，网络技术和设备只有符合有关的国际标准才能在大范围获得工程上的应用。但现在情况却反过来了，得到最广泛应用的不是法律上的国际标准OSI，而是非国际标准TCP/IP。这样，**TCP/IP就常被称为是事实上的国际标准。**

1.4.5 网络通信标准化组织

两个国际标准化组织:

- ISO (1947年成立) 和ITU (1865年成立) ;
- ISO的前身是国际标准化协会 ISA;
- ITU于1993年重组设立了三个部门:
 - ITU-T 电信标准化
 - ITU-R 无线电通信规范
 - ITU-D 电信发展



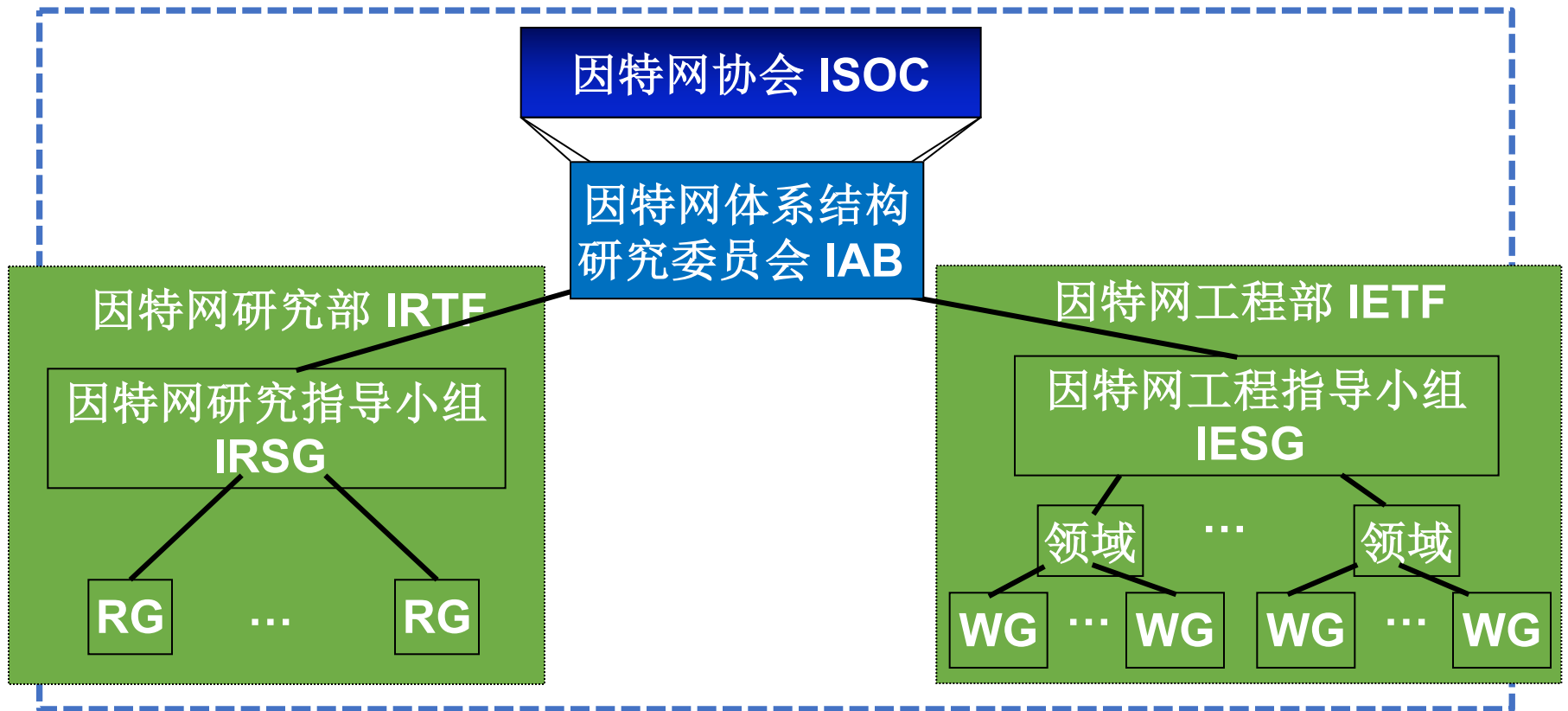
1.4.5 网络通信标准化组织

两个国际标准化组织：

因特网的标准化工作由称为IAB (Internet Activities Board, 1983年成立) 的组织负责, 下设Task Force负责具体的某一方面标准。如IETF(Internet Engineering Task Force)负责因特网近期发展的工程与标准问题。

1.4.5 网络通信标准化组织

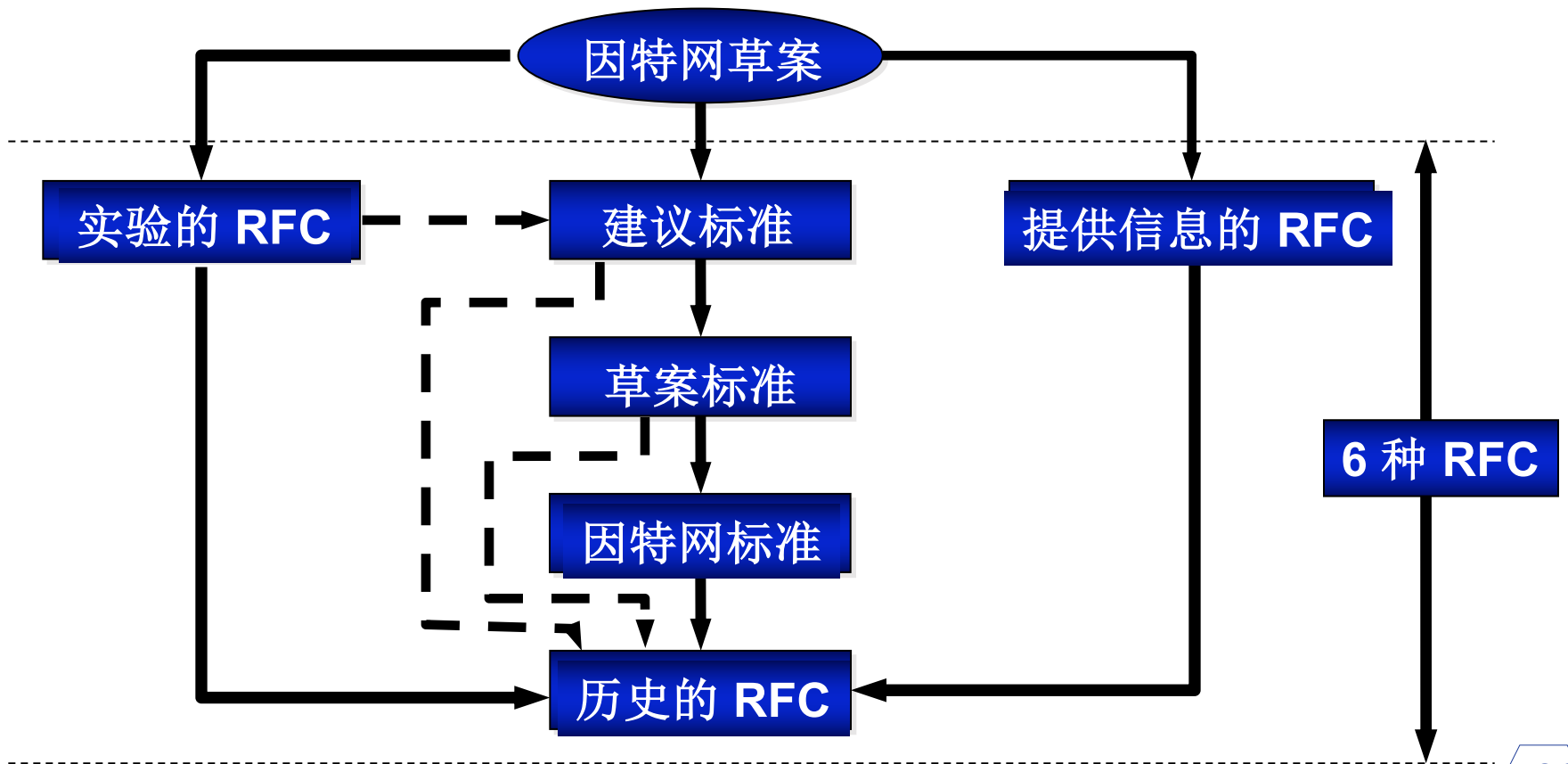
因特网的标准化工作：1989年重组成立了IETF和IRIF





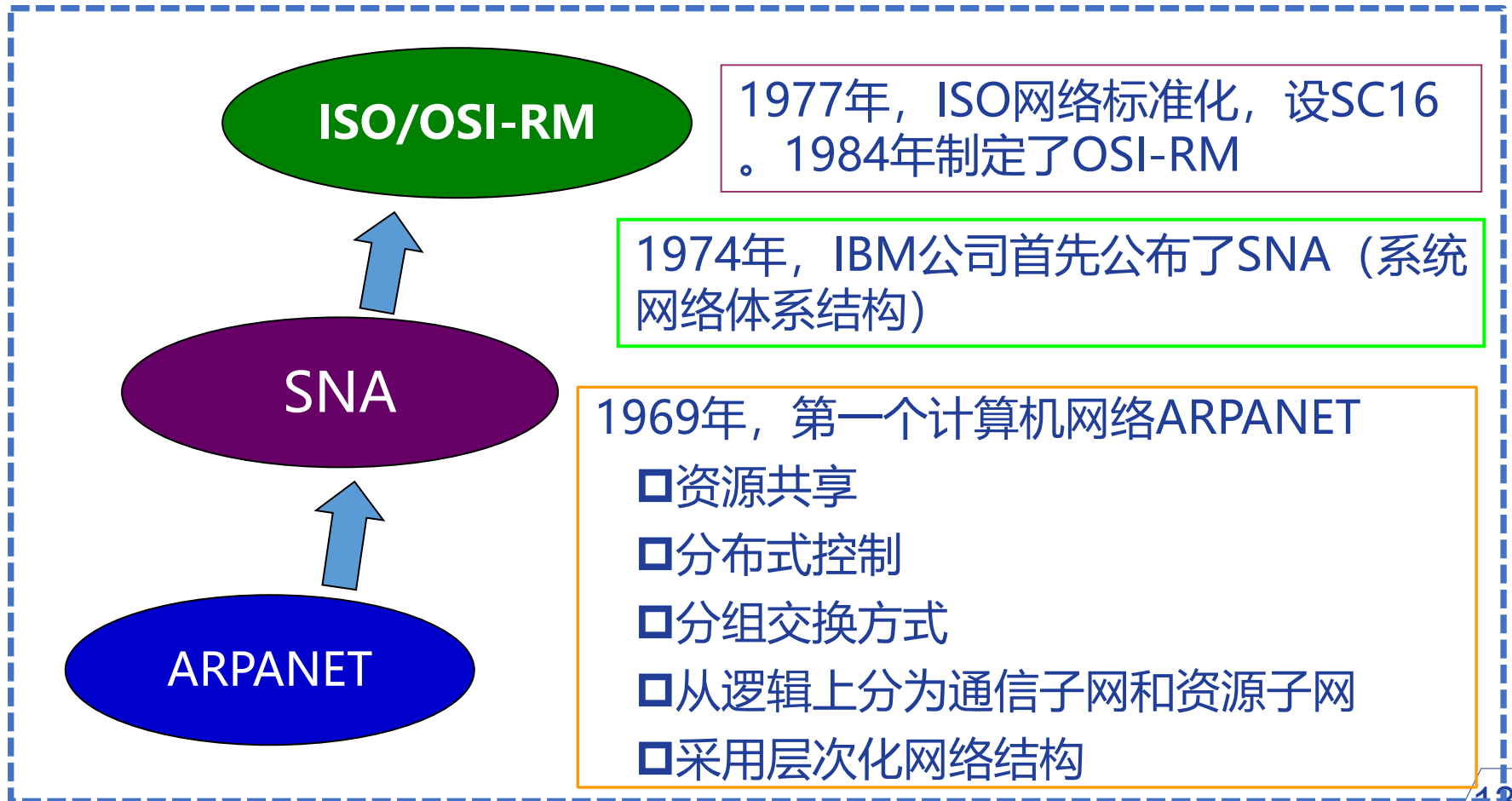
1.4.5 网络通信标准化组织 >>

RFC (Request For Comments): www.ietf.org



1.4.1 通信协议与分层体系结构

分层协议演化





本章小结:

- ① 计算机网络的定义
- ② 计算机网络不同的分类方法
- ③ 计算机网络体系结构
- ④ 通信网络协议
- ⑤ OSI七层模型，TCP/IP模型
- ⑥ 服务访问点
- ⑦ 国际标准化组织

Thank You

H a v e A N i c e D a y

南京邮电大学计算机学院

“计算机通信与网络” 国家精品课程组
